



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE DISIPADORES
HISTERÉTICOS DE FLUENCIA PARA EL MEJORAMIENTO DEL
DESEMPEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO
EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

AUTOR:

Sánchez Rivadeneira, Alfredo Guillermo

**Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Casal Rodríguez, Xavier Federico

**Guayaquil, Ecuador
2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Alfredo Guillermo Sánchez Rivadeneira**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR (A)

Ing. Casal Rodríguez, Xavier Federico

REVISOR(ES)

Ing. Chon Díaz, Carlos Yldefonso

Lcda. Zambrano Saltos, Ruth Mariela

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Dueñas Rossi, Mario

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2014



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Alfredo Guillermo Sánchez Rivadeneira**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Análisis y Evaluación de la Aplicación de Disipadores Histeréticos de Fluencia para el Mejoramiento del Desempeño Sísmico de Estructuras de Hormigón Armado en la Ciudad de Guayaquil** previa a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2014

EL AUTOR

Alfredo Guillermo Sánchez Rivadeneira



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Alfredo Guillermo Sánchez Rivadeneira**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Análisis y Evaluación de la Aplicación de Disipadores Histeréticos de Fluencia para el Mejoramiento del Desempeño Sísmico de Estructuras de Hormigón Armado en la Ciudad de Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2014

EL AUTOR:

Alfredo Guillermo Sánchez Rivadeneira

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mi abuela, ya que gracias a su esfuerzo durante todos estos años he llegado a este punto de mi vida.

Al Ingeniero Xavier Casal, tutor de este trabajo de grado, por su invaluable guía y la dedicación de su tiempo en el desarrollo de este proyecto.

Alfredo Sánchez

DEDICATORIA

A mi abuela.

Alfredo Sánchez

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Xavier Federico Casal Rodríguez
PROFESOR GUÍA Ó TUTOR

Ing. Carlos Yldefonso Chon Díaz
PROFESOR DELEGADO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

**Ing. Xavier Federico Casal Rodríguez
PROFESOR GUÍA Ó TUTOR**

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
I.1 Generalidades	1
I.2 Antecedentes	2
I.3 Descripción de la Problemática	4
I.4 Justificación	7
I.5 Enfoque Metodológico.....	8
I.6 Alcance.....	9
I.7 Objetivos	9
CAPÍTULO 1 CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Caracterización Geológica de los Suelos de Guayaquil	11
1.3 Historia de los Sismos en Guayaquil	14
1.4 Efecto de Sitio	15
1.5 Fuentes Sismogénicas y Zonificación Sísmica de la Ciudad.....	16
CAPÍTULO 2 SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD	19
2.1 Introducción.....	19
2.2 Ecuación de Movimiento y Equilibrio Dinámico en Sistemas de 1GDL	19
2.3 Sistema de 1GDL en Vibración Libre	22
2.4 Sistema de 1GDL en Vibración Forzada	25
2.5 Sistema de 1GDL Sometido a Fuerzas en Forma de Pulsos	31
2.6 Sistema de 1GDL Sometido a los Efectos de un Sismo.....	33
2.7 Respuesta Inelástica de un Sistema de 1GDL	37
2.8 Mecanismos de Disipación de Energía	40
CAPÍTULO 3 PROPIEDADES DEL ACERO.....	43
3.1 Introducción.....	43
3.2 Curva Esfuerzo-Deformación	44
3.3 Tipos de Acero Según las Normas ASTM	47
3.4 Comportamiento del Acero ante Cargas Cíclicas	49

3.5 Comportamiento Cíclico a Nivel Macroscópico	52
3.6 Criterios de Falla	54
3.7 Ductilidad.....	56
CAPÍTULO 4 SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	58
4.1 Introducción.....	58
4.2 Sistemas de Control Activo y Semi-Activo.....	60
4.3 Sistema de Aislamiento de Base	61
4.4 Sistemas de Masa Sintonizada (TMD) o Líquido Sintonizado (TLD)..	63
4.5 Disipadores Metálicos	63
4.6 Disipadores de Fricción	65
4.7 Disipadores Viscoelásticos.....	66
4.8 Disipadores de Fluido Viscoso	67
CAPÍTULO 5 DISIPADORES HISTERÉTICOS DE FLUENCIA.....	69
5.1 Introducción.....	69
5.2 Arriostramientos de Pandeo Restringido (BRB)	71
5.3 Dispositivos ADAS (Added Damping and Stiffness).....	74
5.4 Dispositivos TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness).....	76
5.5 Dispositivos de tipo Panal (Honeycomb).....	78
5.6 Dispositivos SL (Shear Link)	79
5.7 Dispositivos de Rolado de Elementos en Forma de U	80
5.8 Ejercicio de Aplicación.....	81
5.8.1 Generalidades	81
5.8.2 Método de la Diferencia Central	86
5.8.3 Respuesta del Sistema Sin Disipadores	87
5.8.4 Respuesta del Sistema Con Disipadores.....	91
5.8.5 Comparación de la Respuesta del Sistema Sin Disipadores y Con Disipadores.....	95
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO	97
6.1 Introducción.....	97
6.2 Normas y Códigos Utilizados	97
6.3 Materiales.....	98
6.4 Descripción General de las Estructuras	98

6.5 Hipótesis del Modelo	100
6.6 Cargas Aplicadas	100
6.6.1 Carga Muerta (DL)	100
6.6.2 Carga Viva (LL).....	101
6.6.3 Carga Sísmica (EQ).....	101
6.6.4 Combinaciones de Carga	103
6.7 Resultados del Análisis Estructural	103
6.7.1 Análisis Modal.....	103
6.7.2 Revisión de Derivas Inelásticas	104
6.8 Diseño Estructural	106
6.8.1 Diseño de Columnas.....	106
6.8.2 Diseño de Vigas.....	107
CAPÍTULO 7 ANÁLISIS DINÁMICO NO-LINEAL DE LOS PÓRTICOS SIN DISIPADORES Y CON DISIPADORES.....	109
7.1 Introducción.....	109
7.2 Descripción de los Modelos en OpenSees.....	109
7.3 Descripción de los Sismos Utilizados	112
7.3.1 Registro El Centenario 1993.....	112
7.3.2 Registro SG1	113
7.3.3 Registro SG2	114
7.3.4 Resumen de Sismos Utilizados	114
7.4 Descripción de los Pórticos con Disipadores.....	115
7.5 Resultados de los Análisis Dinámicos del Pórtico de 4 Pisos	119
7.5.1 Derivas de Piso.....	119
7.5.2 Desplazamientos Máximos	121
7.5.3 Respuesta Energética.....	123
7.5.5 Histéresis de los Disipadores ADAS	126
7.6 Resultados de los Análisis Dinámicos del Pórtico de 8 Pisos	127
7.6.1 Derivas de Piso.....	127
7.6.2 Desplazamientos Máximos	129
7.6.3 Respuesta Energética.....	132
7.6.4 Histéresis de los Disipadores ADAS	134
7.7 Resultados de los Análisis Dinámicos del Pórtico de 12 Pisos	136
7.7.1 Derivas de Piso.....	136

7.7.2 Desplazamientos Máximos	139
7.7.3 Respuesta Energética.....	141
7.7.4 Histéresis de los Disipadores ADAS.....	143
CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
8.1 Conclusiones.....	146
8.2 Recomendaciones.....	147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
ANEXOS	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sismos Ocurridos en la Ciudad de Guayaquil con Intensidades Mercalli Mayores a VI, Proyecto RADIUS (IIFIUC, 1999)	14
Tabla 2 Clasificación de los Sistemas de Protección Sísmica (Soong y Spencer, 2002)	59
Tabla 3 Comparación entre Disipadores Pasivos de Energía (Symans, 2008)	68
Tabla 4 Resumen de Resultados del Sistema Sin Disipadores	87
Tabla 5 Resumen de Resultados del Sistema Con Disipadores.....	91
Tabla 6 Tabla Comparativa de la Respuesta del Sistema Sin Disipadores y Con Disipadores	95
Tabla 7 Componentes de Carga Muerta Adicional	101
Tabla 8 Modos de Vibración y Masa Acumulada en X del Pórtico de 4 Pisos	104
Tabla 9 Modos de Vibración y Masa Acumulada en X del Pórtico de 8 Pisos	104
Tabla 10 Modos de Vibración y Masa Acumulada en X del Pórtico de 12 Pisos	104
Tabla 11 Revisión de Derivas Inelásticas del Pórtico de 4 Pisos.....	105
Tabla 12 Revisión de Derivas Inelásticas del Pórtico de 8 Pisos.....	105
Tabla 13 Revisión de Derivas Inelásticas del Pórtico de 12 Pisos.....	106
Tabla 14 Columnas Utilizadas en el Pórtico de 4 Pisos	107
Tabla 15 Columnas Utilizadas en el Pórtico de 8 Pisos	107
Tabla 16 Columnas Utilizadas en el Pórtico de 12 Pisos.....	107
Tabla 17 Vigas Utilizadas en el Pórtico de 4 Pisos	108
Tabla 18 Vigas Utilizadas en el Pórtico de 8 Pisos	108
Tabla 19 Vigas Utilizadas en el Pórtico de 12 Pisos	108
Tabla 20 Características de los Disipadores – Pórtico de 4 Pisos	116
Tabla 21 Característica de los Disipadores – Pórtico de 8 Pisos.....	116
Tabla 22 Característica de los Disipadores – Pórtico de 12 Pisos.....	117
Tabla 23 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993	119
Tabla 24 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1	119
Tabla 25 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2	120
Tabla 26 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993	121
Tabla 27 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1	122
Tabla 28 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2	122
Tabla 29 Respuesta Energética Global del Sistema de 4 Pisos Sin Disipadores y Con Disipadores.....	124
Tabla 30 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993	127
Tabla 31 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1	127
Tabla 32 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2	128
Tabla 33 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993	130
Tabla 34 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1	130
Tabla 35 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2	130

Tabla 36 Respuesta Energética Global del Sistema de 8 Pisos Sin Disipadores y Con Disipadores.....	132
Tabla 37 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993	136
Tabla 38 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1	137
Tabla 39 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2	137
Tabla 40 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993	139
Tabla 41 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1 ..	139
Tabla 42 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2 ..	140
Tabla 43 Respuesta Energética Global del Sistema de 12 Pisos Sin Disipadores y Con Disipadores.....	141

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1 Mapa Geológico de la Ciudad de Guayaquil. (Benítez, 2004 citado por Tandazo y Ramírez, 2006)	12
Figura 2 Mapa Geológico de la ciudad de Guayaquil (Vera et al., 2006)....	13
Figura 3 Zonificación Sísmica de los Suelos de Guayaquil de Acuerdo al Proyecto RADIUS (IIFIUC, 1999).....	17
Figura 4 Fuerzas en Sistema 1GDL (Chopra, 2012).....	20
Figura 5 Sistema de 1GDL Sometido a Solicitaciones Sísmicas (Chopra, 2012).....	22
Figura 6 Respuesta en Vibración Libre de Sistemas con Diferentes Fracciones de Amortiguamiento Crítico	24
Figura 7 Vibración Libre Amortiguada $\zeta=2, 5, 10, 20\%$	25
Figura 8 Respuesta de un Sistema Amortiguado a una Excitación Armónica. ($\zeta=0.05$).....	26
Figura 9 Comparación entre las Respuestas Estacionarias de un Sistema Amortiguado ($\zeta=0.20$) para Diferentes Relaciones de Frecuencias ω/ω_n	27
Figura 10 Factor de Amplificación de Respuesta de Desplazamiento y Ángulo de Fase de Sistemas Amortiguados Sometidos a Excitaciones Armónicas.....	28
Figura 11 Superposición de pulsos para obtener la respuesta a una excitación arbitraria (Chopra, 2012).....	31
Figura 12 Espectro de Choque Con Pulsos de Igual Área, pero Diferentes Formas, en un Sistema No-Amortiguado.....	32
Figura 13 Efecto del Amortiguamiento en un Sistema Bajo un Pulso de Choque de Forma Medio Seno ($\zeta=0.00, 0.01, 0.10, 0.20, 0.40$) (Chopra, 2012).....	33
Figura 14 Acelerograma Sismo Imperial Valley, registro de El Centro, 1940 (http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/a.k.chopra/el_centro_data)..	34
Figura 15 (Izq.): Respuesta de desplazamiento ante un mismo sismo en estructuras con diferente periodo natural de vibración, mismo amortiguamiento. (Der.) Espectro de Respuesta de Desplazamiento. (Chopra, 2012).....	35
Figura 16 Espectros de Respuesta ($\zeta=0.02$) para el registro de El Centro, 1940 (a) Espectro de Desplazamiento, (b) Pseudo-Espectro de Velocidad, (c) Pseudo-Espectro de Aceleración (Chopra, 2012).....	37
Figura 17 Curva Histerética Formada en el Rango (Izq.) Inelástico, (Der.) Elástico (Chopra, 2012)	38
Figura 18 Modelos Idealizados de Curvas Histeréticas, (a) Modelo Elastoplástico Perfecto, (b) Modelo Bilineal, (c) Modelo de Degradación de Rigidez (Villaverde, 2009).....	39
Figura 19 Efectos de la Inelasticidad en un Sistema para diferentes grados de fuerza de fluencia normalizada \bar{f}_y (Chopra, 2012).....	40
Figura 20 Respuesta de un Sistema Desde el Punto de Vista Energético, (a) Sismo Leve, Estado Límite de Control de Dano, (b) Sismo Severo, Estado Límite de Colpaso. (Uang y Bertero, 1986).....	42

Figura 21 Curva Esfuerzo-Deformación Esquemática (Bruneau, Uang y Whittaker, 1998).....	44
Figura 22 Deformaciones Permanentes y Energía Disipada por Unidad de Volumen (Soong y Dargush, 1997).....	47
Figura 23 Curvas Típicas de Esfuerzo-Deformación para Distintos Tipos de Acero Estructural (Brockenbrough y Merritt, 1999).....	48
Figura 24 Comportamiento del Acero ante Cargas Cíclicas (Bruneau et al., 1998).....	49
Figura 25 Modelos Constitutivos del Acero Ante Cargas Cíclicas (a) Modelo Rígido-Plástico Perfecto, (b) Modelo Elasto-Plástico Perfecto, (c) Modelo Bilineal, (d) Modelo de Özdémir.....	51
Figura 26 Esquema de Funcionamiento de un Sistema de Control Activo (Villarreal y Castro, 2009)	60
Figura 27 Comparación de la Respuesta entre una Estructura sin Aislación Sísmica de Base y una en la que se ha Incorporado este Sistema. (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011).....	61
Figura 28 Efecto de la Incorporación de un Sistema de Aislamiento de Base en la Estructura (Retamales, 2012)	62
Figura 29 Aislador de Base Elastomérico con Núcleo de Plomo (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011).....	62
Figura 30 Sistema de Masa Sintonizada (TMD) en la Parte Superior de una Edificación (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011).....	63
Figura 31 Dispositivo de Extrusión de Plomo (Key, 1983).....	64
Figura 32 Dispositivo de Disipación de Energía por Fricción (Aiken, 1996).....	65
Figura 33 Disipador Viscoelástico (Soong y Dargush, 1997).....	66
Figura 34 Disipadores Viscosos (Constantinou, 1993).....	67
Figura 35 Dispositivos Ensayados por Kelly et al. (1972) (a) Disipador por Rolado de U, (b) Disipador Torsional, (c) Disipador por Flexión Pura. (Kelly, Skinner & Heine, 1972).....	70
Figura 36 Comportamiento Histerético de un Miembro Sometido a Carga Axial, Sistema Convencional (Líneas Punteadas), Barras de Pandeo Restringido (Líneas Continuas) (Clark et al. 1999)	72
Figura 37 Sistema Típico de Barras de Pandeo Restringido (Clark et al. 1999).....	73
Figura 38 Arriostramientos de Pandeo Restringido Instalados en el Centro Médico Santa Clara, Santa Clara, California (Symans, 2008)	74
Figura 39 Dispositivo ADAS (Aiken et al., 1993).....	75
Figura 40 Análisis de un Dispositivo ADAS (Bruneau et al., 1998).....	76
Figura 41 Dispositivo TADAS (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011)	77
Figura 42 Análisis de un Dispositivo TADAS (Bruneau et al., 1998).....	78
Figura 43 Dispositivo tipo Panal (Honeycomb) (Villarreal y Castro, 2009)..	79
Figura 44 Dispositivo SL (Shear Link) (Bozzo y Barbat, 2004)	79
Figura 45 Sistema de Rolado en U Utilizado en el Puente Napo, Ecuador (Sísmica Ingenieros Consultores, 2013)	81

Figura 46 Disipador de Energía por Rolado en U en la Torre Titanium, Chile (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011).....	81
Figura 47 Pórtico Considerado en el Ejercicio de Aplicación (a) Sin Disipadores, (b) Con Disipadores	82
Figura 48 Sección Transversal de la Columna y Diagrama de Momento-Curvatura	82
Figura 49 Dimensiones Dispositivo ADAS Utilizado	83
Figura 50 Respuesta del Sistema Sin Disipadores (a) Desplazamiento vs. Tiempo, (b) Velocidad vs. Tiempo, (c) Aceleración vs. Tiempo	88
Figura 51 Sistema Sin Disipadores: Relación Fuerza-Desplazamiento de los Componentes Dinámicos del Sistema (a) Componente Elástico/Inelástico, (b) Componente de Amortiguamiento Viscoso, (c) Componente Inercial.....	89
Figura 52 Sistema Sin Disipadores: (a) Respuesta Energética del Sistema, (b) Balance Energético	90
Figura 53 Respuesta del Sistema Con Disipadores (a) Desplazamiento vs. Tiempo, (b) Velocidad vs. Tiempo, (c) Aceleración vs. Tiempo	92
Figura 54 Sistema Con Disipadores: Relación Fuerza-Desplazamiento de los Componentes Dinámicos del Sistema (a) Componente Elástico/Inelástico, (b) Componente de Amortiguamiento Viscoso, (c) Componente Inercial (d) Componente del Disipador ADAS	93
Figura 55 Sistema Con Disipadores: (a) Respuesta Energética del Sistema, (b) Balance Energético	94
Figura 56 Comparación de la Respuesta de Sistema Sin Disipador y Con Disipador, (a) Desplazamiento vs. Tiempo, (b) Velocidad vs. Tiempo, (c) Aceleración vs. Tiempo.....	96
Figura 57 Modelo del Pórtico de 4 pisos (Altura Total 15.30 m)	98
Figura 58 Modelo del Pórtico de 8 pisos (Altura Total 29.70 m)	99
Figura 59 Modelo del Pórtico de 12 pisos (Altura Total 44.10 m)	99
Figura 60 Detalle de Dimensiones de la Losa Nervada Considerada	100
Figura 61 Espectro de Aceleraciones (Elástico e Inelástico) $Z=0.40$, $I=1.00$, $R=5.00$, Suelo Tipo E.....	102
Figura 62 Curva Esfuerzo-Deformación del Hormigón Según el Modelo de Mander et al. (1988).....	111
Figura 63 Acelerograma Estación Centenario, Guayaquil – 1993 - Dirección Norte-Sur, $PGA=0.456g$	113
Figura 64 Acelerograma Sintético SG1, $PGA=0.456g$	113
Figura 65 Acelerograma SG2, $PGA=0.20g$	114
Figura 66 Espectros de Respuesta de Aceleración de los Tres Sismos Considerados – $\zeta=5\%$	115
Figura 67 Esquema del Pórtico de 4 Pisos con Disipadores	117
Figura 68 Esquema del Pórtico de 8 Pisos con Disipadores	118
Figura 69 Esquema del Pórtico de 12 Pisos con Disipadores	118
Figura 70 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993	120
Figura 71 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1	120
Figura 72 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2	121

Figura 73 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993	122
Figura 74 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1 ...	123
Figura 75 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2 ...	123
Figura 76 Respuesta Energética Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.	124
Figura 77 Respuesta Energética Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.	125
Figura 78 Respuesta Energética Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.	125
Figura 79 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993	126
Figura 80 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993	128
Figura 81 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1	128
Figura 82 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2	129
Figura 83 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993	131
Figura 84 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1 ...	131
Figura 85 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2 ...	131
Figura 86 Respuesta Energética Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.	133
Figura 87 Respuesta Energética Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.	133
Figura 88 Respuesta Energética Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.	134
Figura 89 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993	135
Figura 90 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993	138
Figura 91 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1	138
Figura 92 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2	138
Figura 93 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993	140
Figura 94 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1 .	140
Figura 95 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2 .	141
Figura 96 Respuesta Energética Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.	142
Figura 97 Respuesta Energética Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores	142
Figura 98 Respuesta Energética Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.	143
Figura 99 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993	145

RESUMEN

El diseño sismo-resistente convencional se fundamenta en la idea de disipar energía por medio de la inelasticidad de los elementos estructurales durante un sismo severo, lo cual implica daño en los mismos. La incorporación de sistemas disipadores histeréticos de energía permite concentrar la mayor parte del daño en elementos que no comprometan la integridad estructural y que puedan ser fácilmente reemplazables. En este trabajo se analiza el mejoramiento del desempeño sísmico de tres pórticos de hormigón armado sometidos a diferentes excitaciones que representen el riesgo sísmico de la ciudad de Guayaquil. Mediante un estudio comparativo de estas estructuras sin y con disipadores se determina la magnitud del beneficio de estos dispositivos y la aplicabilidad en el diseño de estructuras reales en la ciudad, presentando una alternativa de diseño con ventajas económicas a corto y largo plazo.

Palabras Claves: disipador, histerético, energía, metálico, ADAS, sismos, hormigón armado, diseño, desempeño, Guayaquil.

ABSTRACT

The conventional seismic design philosophy is based on the idea that structural elements may dissipate energy through inelastic incursion in a severe earthquake, implying damage in them. The incorporation of hysteretic metallic dampers in a structure permits the concentration of damage in elements that don't compromise the structural integrity and that may be easily replaced. The purpose of this work is to analyze the enhancement of seismic performance of three reinforced concrete frames subjected to different excitations that represents the seismic risk of Guayaquil city. The quantification of the benefits of these devices is carried through a comparative study of the frames with and without dampers, establishing its applicability in real structures' design in this city, presenting an alternative to design with economic benefits in short and long term.

Key Words: damper, hysteretic, energy, metallic, ADAS, earthquake, reinforced concrete, design, performance, Guayaquil.

INTRODUCCIÓN

I.1 Generalidades

El diseño sismo-resistente convencional basa el diseño de estructuras ante sollicitaciones sísmicas en que, ante la ocurrencia de un sismo severo, las estructuras estarán en capacidad de disipar cierta cantidad de energía por medio de diversas fuentes, particularmente la incursión en el rango inelástico de elementos estructurales, lo cual implica la disipación de energía mediante la formación de rótulas plásticas en zonas determinadas de los mismos. Por lo tanto, los esfuerzos bajo este sistema de diseño se concentran en dotar de un detallamiento adecuado de la estructura en general, y en particular de las zonas donde se desea que se incurse en el rango inelástico para evitar mecanismos de falla no deseados y proporcionar una ductilidad adecuada, ya que esto es sinónimo de la capacidad del miembro de disipar energía. Al ocurrir esto, se produce un daño estructural que se espera no implique el colapso de la estructura. En muchas ocasiones esto efectivamente ocurre, sin embargo, este daño debe ser reparado posteriormente, pero en otras ocasiones este daño es irreparable y se debe proceder a la demolición de la edificación.

En el presente documento se analiza el uso de dispositivos disipadores de energía, en particular de los dispositivos histeréticos que disipan energía por medio de la fluencia de metales, cuyo fundamento surgió como un método alternativo al diseño convencional para reducir los efectos destructivos de un sismo en una estructura, el cual consiste en separar la función de los elementos estructurales designados a soportar las cargas gravitacionales del edificio (estructura principal) de la función destinada a absorber los efectos que ocasionen las cargas laterales ante el evento de un sismo o de vientos muy fuertes.

I.2 Antecedentes

Los trabajos iniciales sobre la aplicación de disipadores de energía a estructuras se remontan a la década de los 70. Uno de los primeros documentos sobre el tema es el de Kelly, Skinner y Heine (1972) en el cual se analizan 3 tipos de dispositivos metálicos que disipaban energía por medio de diferentes mecanismos, flexión, corte, torsión o combinaciones de los mismos.

A partir de esas investigaciones iniciales se efectuaron una gran cantidad de pruebas y se elaboraron diversos mecanismos de disipación de energía, entre ellos los aisladores de base, disipadores visco-elásticos, viscosos, de fluencia, de fricción, etc. Con el avance de la tecnología se desarrollaron sistemas activos de control sísmico, los cuales se controlan en tiempo real por medio de sistemas computarizados.

En este documento se tratarán únicamente los disipadores de energía por fluencia de metales, estos tienen características particulares citadas por Aiken (1996):

Los sistemas de disipación metálicos aprovechan el comportamiento histerético de los metales cuando son deformados en su rango post-elástico. Una amplia variedad de dispositivos han sido utilizados aprovechando el comportamiento inelástico por flexión, corte, o deformación extensiva. Las características particularmente deseables de estos sistemas son su comportamiento estable, confiable a largo plazo y por lo general ofrecen una buena resistencia ante los factores ambientales y de temperatura. (p. 6)

Un aspecto particularmente atractivo de los disipadores metálicos es su relativa economía, ya que los mismos pueden ser fabricados a partir de

planchas de acero dulce al carbono convencional, y además se pueden llegar a diseñar dispositivos en una variedad de formas y configuraciones, siempre y cuando su aplicabilidad esté respaldada por ensayos de los mismos.

Efectivamente, en la actualidad existe una amplia gama de dispositivos metálicos de disipación de energía, entre ellos los arriostramientos de pandeo restringido, dispositivos tipo ADAS, TADAS, Honeycomb, dispositivos de rolado en forma de U, etc. los cuales han sido experimentados con resultados que se encuentran publicados por diversas instituciones alrededor del mundo y su desempeño ha sido comprobado inclusive en eventos sísmicos reales.

El efecto de la incorporación de estos dispositivos a un sistema estructural ha sido ampliamente estudiado desde el inicio de las investigaciones sobre el tema, y ha sido inclusive puesto a prueba en sismos reales que han ocurrido en las últimas décadas, tal es el caso del sismo de Northridge (1994) y Kobe (1995) en los cuales las estructuras que poseían un sistema de aislamiento sísmico o de disipación de energía demostraron un comportamiento satisfactorio. Los efectos de la incorporación de disipadores de energía son los siguientes según Villareal y Oviedo (2009):

En el mejoramiento en el desempeño de la respuesta sísmica y el control de daño, los sistemas suplementarios de disipación de energía trabajan muy bien. En estos sistemas, dispositivos mecánicos son incorporados en el pórtico de la estructura y disipa energía a lo largo de toda la altura de la estructura. Esto significa que la energía es disipada por fluencia de metales, fricción por deslizamiento, movimiento de un pistón o un plato con fluido viscoso, fluido a través de un orificio o la acción viscoelástica en materiales poliméricos.

Adicionalmente al incremento de la capacidad de disipación de energía por unidad de desplazamiento de una estructura, algunos sistemas de disipación de energía también incrementan la resistencia y rigidez. En estos sistemas están incluidos los siguientes tipos de dispositivos de disipación de energía: fluencia de metales, fricción y viscoelásticos. Los sistemas de disipación de energía llamados disipadores de fluido viscoso no incrementan la resistencia o rigidez de una estructura a menos que la frecuencia de excitación sea muy alta. (p. 12)

El estudio y aplicación de nuevas tecnologías en el diseño de estructuras sismo-resistentes es todavía un tema de novedad que presenta un campo abierto para futuras investigaciones en la rama de la dinámica estructural. Hace pocas décadas se inició el estudio de métodos de disipación de energía por medio de la fluencia de dispositivos metálicos, investigaciones lideradas por países como Nueva Zelanda, Japón y Estados Unidos con aplicaciones a estructuras en los mismos, sin embargo, estos dispositivos ya han sido utilizados en países como México, Chile y Perú, y existe conocimiento sobre el tema en otros países latinoamericanos. Si bien, ciertos investigadores nacionales han expuesto este tema brevemente en algunos documentos científicos y tesis, la aplicación de estos elementos en el país aún se encuentra lejos de ser utilizada ampliamente.

I.3 Descripción de la Problemática

El Ecuador es un país ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, por lo tanto en la filosofía de diseño de estructuras aplicada en la actualidad se hace énfasis en el dimensionamiento y nivel de detallamiento de los miembros estructurales de todo tipo de edificaciones, así como la caracterización de materiales que cumplan requerimientos mínimos de resistencia y ductilidad,

para que las mismas puedan sobrevivir al evento de un sismo severo, salvaguardando principalmente las vidas humanas. A lo largo de su historia han ocurrido sismos de gran magnitud, entre ellos el sismo de Esmeraldas (1906) que aún se mantiene en la lista de los 10 sismos de mayor magnitud registrados en la historia, y el sismo de Bahía de Caráquez (1998) que ocasionó daños a diversas estructuras de la zona. En años recientes, se ha podido observar como países con características de riesgo sísmico similares a las nuestras han sufrido las consecuencias de sismos de gran magnitud, es el caso de Chile, Japón, México, entre otros. Por lo tanto, el riesgo de la ocurrencia de un evento sísmico de tales características en nuestro territorio es bastante alto. Guayaquil en particular ha sufrido las consecuencias de eventos de mediana magnitud a lo largo del siglo pasado. Destacan el sismo del 13 de mayo de 1942, el que dejó 40 muertos y aproximadamente el mismo número de heridos habiendo colapsado 3 edificios de hormigón y 5 tuvieron que ser demolidos posteriormente y el sismo del 18 de agosto de 1980, donde fallecieron 10 personas y 62 edificios fueron afectados.

Las normas nacionales e internacionales en los últimos años incorporan en sus páginas, requerimientos mínimos de diseño sismo-resistente y dan lineamientos sobre el análisis estructural que debe realizarse, es así como se proponen espectros de aceleraciones y/o de desplazamientos ante eventos sísmicos considerando las características geológicas de la región considerada, el tipo de suelo donde se asientan las estructuras, el historial de sismos registrado en la zona o en zonas similares, entre otros, así como también proponen alternativas de diseño, siendo éstas en rasgos generales métodos estáticos o dinámicos y lineales o no-lineales. El Ecuador en su nueva norma NEC 11 incorpora todas estas recomendaciones descritas de una manera que se espera sea satisfactoria, sin embargo, esto no siempre fue así; los criterios de diseño sismo-resistentes fueron evolucionando durante el siglo pasado y hace unas cuantas décadas en todo el mundo llegaron a ser similares a lo que son en la actualidad, y este tiempo disminuye mucho más en el caso de nuestro país, por lo tanto, existen muchas edificaciones aún en

pie, inclusive edificios de varios pisos, que no fueron diseñadas para garantizar la supervivencia de los ocupantes ante un evento extremo. Estos corresponden a un primer grupo de aplicación del tema de este documento.

El segundo grupo de aplicación corresponde a edificaciones las cuales, debido a su importancia en la sociedad, y a sus características, deben mantenerse operativos luego de un evento sísmico, estos incluyen hospitales, edificaciones destinadas para el uso como refugios ante la ocurrencia de desastres naturales, puentes esenciales cuyo colapso pueda dejar incomunicada una población importante, entre otros. El diseño de este grupo de estructuras debe garantizar el requisito de ocupación inmediata. El código NEC 11 y diversos códigos alrededor del mundo buscan garantizar esto añadiendo un factor de importancia al espectro de diseño (inelástico), por lo tanto incrementando las fuerzas a las que estará sometida en el análisis, teniendo como objetivo principal lograr una menor incursión en el rango inelástico de los elementos que componen el sistema estructural. Sin embargo, en ciertos casos esto no se ha reflejado en la realidad, hospitales en ciudades que han sido devastadas por sismos han tratado de mantenerse operativos, pero el nivel de daño ocasionado por el mismo ha obligado a cesar su actividad para efectuar la rehabilitación del sistema o por considerarse que no se puede garantizar la seguridad de sus ocupantes, otros cuantos han colapsado ocasionando la muerte de sus pacientes que se muestran indefensos ante este tipo de situaciones.

Esta problemática no solo existe en el caso de estas estructuras esenciales, las pérdidas económicas que produce un sismo no solo son por la destrucción de las edificaciones e infraestructura de una ciudad, afecta de gran manera también las secuelas luego del evento, ya que todas las actividades económicas se detienen completamente ocasionando pérdidas de millones de dólares al Estado y la Empresa Privada, al no garantizarse la ocupación inmediata de estas edificaciones. Esto es inherentemente un tema económico. Los códigos alrededor del mundo, incluyendo el nuestro, basan el diseño de estructuras ante sollicitaciones sísmicas en que, ante la ocurrencia

de un sismo severo, las estructuras estarán en capacidad de disipar cierta cantidad de energía por medio de diversas fuentes, particularmente la incursión en el rango inelástico de elementos estructurales, lo cual implica la disipación de energía mediante la formación de rótulas plásticas en zonas determinadas de los mismos. En muchas ocasiones esto es sinónimo de daño estructural que no implica un colapso, sin embargo, este daño debe ser reparado posteriormente, en otras ocasiones este daño es irreparable y se debe proceder a la demolición de la edificación. Es por eso que se incluyen factores de reducción inelástica en los espectros de diseño, ya que el diseño de una estructura que se comporte muy cercana al rango elástico resultaría excesivamente costosa en cuanto al uso de materiales en su construcción. Sin embargo, las consecuencias económicas que podrían suceder ante un cese de operaciones añadido a los costos de rehabilitación, o la necesidad de demoler la edificación al quedar inoperativa a veces son subestimadas al momento de tomar decisiones.

Para el reforzamiento de estructuras con el objetivo de mejorar su desempeño sísmico existen varias alternativas, incorporación de elementos estructurales, encamisados, entre otros, sin embargo, muchas de estas son complicadas, implican detener las actividades que se efectúan en toda la edificación por el largo tiempo que dura la rehabilitación, destruyen el diseño arquitectónico del edificio, incorporan un volumen considerable de obra falsa, o tienen un costo muy elevado, por ello se analiza y evalúa en este documento la incorporación de elementos disipadores de energía sísmica por medio de la fluencia de dispositivos metálicos a una estructura como mecanismo de mejoramiento de desempeño sísmico, incorporándose como reforzamiento de estructuras existentes deficientes, o estructuras nuevas que requieran mantener su operatividad luego de un evento severo.

I.4 Justificación

Debido al potencial riesgo de un evento sísmico severo en el territorio nacional, en particular en la ciudad de Guayaquil, es de suma importancia,

además de incorporar una filosofía de diseño sismo-resistente para estructuras que serán construidas en el futuro, el cual ya existe, establecer y estudiar ampliamente las alternativas de rehabilitación y mejoramiento del desempeño sísmico de edificios existentes, los cuales tienen antigüedades variadas y que podrían poner en riesgo miles de vidas humanas de ocurrir un evento de tales magnitudes. Es necesario también considerar la aplicabilidad de criterios de ocupación inmediata y operatividad continua de estructuras de uso especial como son los casos de hospitales, los cuales deberán estar en la capacidad de ofrecer sus servicios inmediatamente luego de un sismo severo, por la cantidad de personas que puedan requerir asistencia médica inmediata. Los hospitales y otros servicios de seguridad social (bomberos, policía, entre otros) son pilares fundamentales en la recuperación de una ciudad luego de un evento catastrófico. Además la rehabilitación y reforzamiento de estructuras de carácter histórico que constituyan un patrimonio cultural o de otro tipo y ofrecer alternativas a inversionistas privados que opten por mejorar las características de desempeño sísmico de edificios de su pertenencia para no incurrir en el riesgo de sufrir pérdidas económicas severas.

I.5 Enfoque Metodológico

El enfoque metodológico de la presente investigación es un enfoque cuantitativo y de tipo descriptivo.

La metodología a usar consiste en la realización de un modelo matemático en un programa de elementos finitos, como el SAP 2000, el cual incorporará las características geométricas, de los materiales y las cargas de una estructura tipo de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil, realizar un análisis estructural no-lineal del modelo determinado, específicamente mediante un análisis tiempo-historia utilizando algún sismo que caracterice las propiedades sísmicas y del tipo de suelo de la zona de Guayaquil, luego incorporar al mismo elementos que modelen la aplicación de los disipadores de energía tratados y realizar un nuevo análisis no lineal para finalmente

comparar los resultados obtenidos en ambos y de esa manera poder determinar el efecto de estos dispositivos en el comportamiento sísmico de la estructura.

I.6 Alcance

El alcance de este trabajo de investigación consiste en exponer las opciones de sistemas de protección sísmica existentes, en particular los disipadores pasivos de energía por fluencia de metales, sus ventajas y desventajas, los resultados de investigaciones y aplicaciones en otros países y evaluar los efectos de la aplicación de disipadores histeréticos de energía en una estructura tipo de hormigón armado considerando la caracterización del suelo y sísmica de la ciudad de Guayaquil, cuantificar los beneficios y establecer su aplicabilidad para la rehabilitación y mejoramiento del desempeño sísmico de estructuras nuevas o existentes.

I.7 Objetivos

En el presente documento se pretende lograr los siguientes objetivos:

- Evaluar el mejoramiento del desempeño sísmico de una estructura de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil mediante la incorporación de un sistema de disipadores histeréticos de energía por medio de la fluencia de un dispositivo metálico.
 - Estudiar el mecanismo de acción y las formas de representar el efecto de los disipadores histeréticos de energía por medio de la fluencia de elementos metálicos en un modelo matemático.
 - Realizar un modelo que represente una estructura de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil y evaluar el comportamiento sísmico de la misma.

- Incorporar al modelo los elementos de disipación de energía y analizar los nuevos resultados obtenidos.
- Comparar los resultados del análisis estructural del modelo sin disipadores y con disipadores para poder determinar el mejoramiento de desempeño sísmico que producen los mismos.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

1.1 Introducción

La ciudad de Guayaquil es el área urbana con mayor población del Ecuador (más de 2.5 millones de habitantes) y su puerto principal. Se encuentra en un área de alto riesgo sísmico afectada principalmente por tres fuentes tectónicas y a lo largo de su historia se han reportado varios sismos de magnitudes considerables.

Esta ciudad se encuentra en el extremo sur de la cuenca del río Guayas, por lo que su estratigrafía consiste en una gran región de depósitos deltaico-estuarinos de características cohesivas y blandas con un alto índice de compresibilidad y espesores que varían entre 15 y 60 metros hasta su basamento de estrato firme. Al oeste la ciudad limita con la cordillera Chongón-Colonche, por lo que las características de los suelos en la región occidental corresponden a formaciones rocosas de tipo sedimentario. (IIFIUC, 1999; Vera, Bray, Pestana, Kayen, Tandazo, Vera y Mera, 2006)

1.2 Caracterización Geológica de los Suelos de Guayaquil

Diversos estudios se han realizado con el fin de proporcionar un mapa geológico de la ciudad de Guayaquil considerando las propiedades geomorfológicas y geotectónicas de los suelos que la componen, todos ellos concluyen en mayor o menor grado de detalle que la ciudad de Guayaquil se compone básicamente de tres tipos de suelo: (a) formaciones rocosas concentradas en la zona occidental, (b) una llanura aluvial en la zona noreste y (c) depósitos deltaico-estuarinos a nivel del río Guayas y el Estero Salado en la zona centro-sur. Benítez (2004) citado por Tandazo y Ramírez (2006) presenta un informe geotectónico en el cual se observan siete denominaciones de formaciones rocosas: los grupos Ancón y Azúcar, las

formaciones San Eduardo, Guayaquil, Cayo, Piñón y Rocas Graníticas Indiferenciadas. Se observa también una división de los suelos blandos en las siguientes categorías: depósitos aluviales, depósitos estuarinos, depósitos aluvio-lacustres y depósitos coluviales. A partir de esta información se presenta el siguiente mapa geológico de la ciudad:

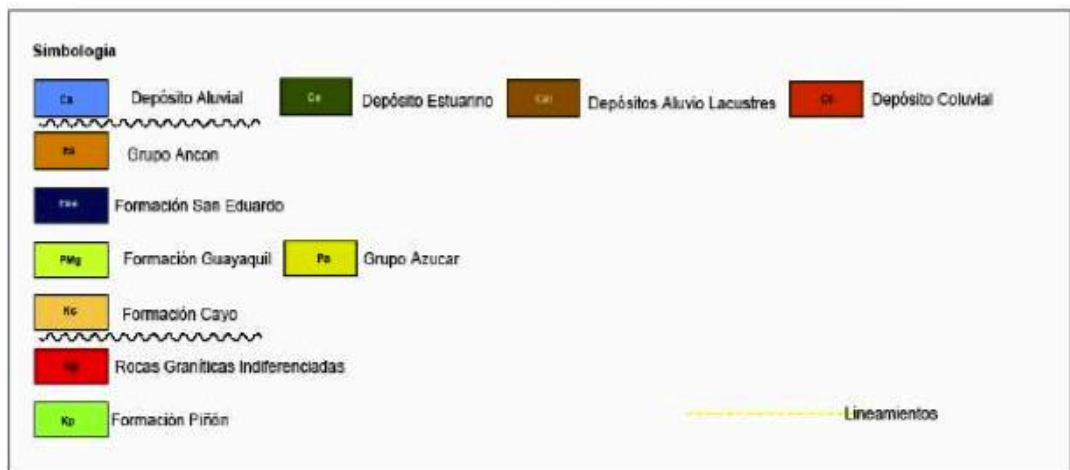
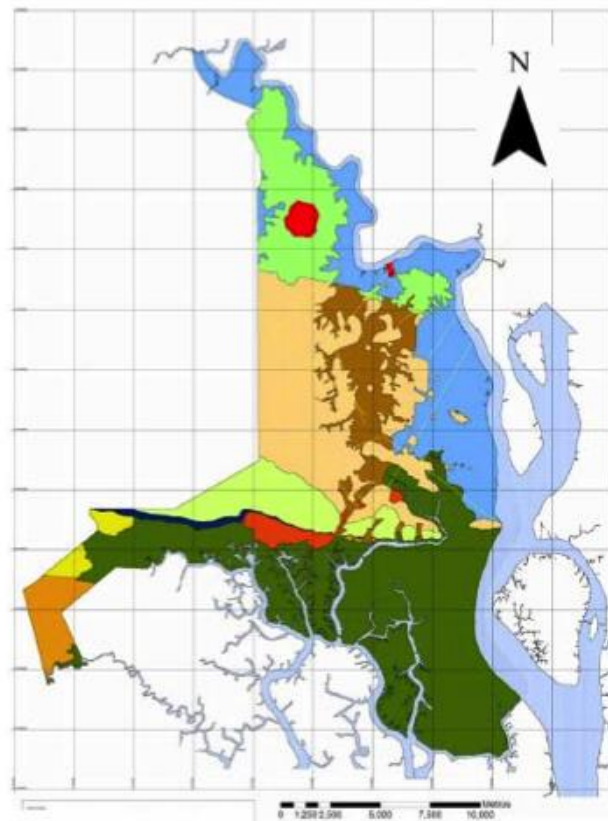


Figura 1 Mapa Geológico de la Ciudad de Guayaquil. (Benítez, 2004 citado por Tandazo y Ramírez, 2006)

Vera et al. (2006) realiza una caracterización más detallada de los suelos de Guayaquil, subdividiendo los suelos blandos en correspondencia a su ubicación geográfica. En la zonificación realizada el mapa geológico de la ciudad de Guayaquil consta de siete zonas:

- Zona 1: Depósitos Deltaico-Estuarinos (Este-Centro)
- Zona 2: Depósitos Deltaico-Estuarinos (Sur)
- Zona 3: Depósitos Deltaico-Estuarinos (Oeste-Norte-Isla Trinitaria)
- Zona 4: Depósitos Aluviales (Norte)
- Zona 5: Depósitos Aluvio-Lacustres (Norte)
- Zona 6: Depósitos Coluviales
- Zona 7: Formaciones Rocosas

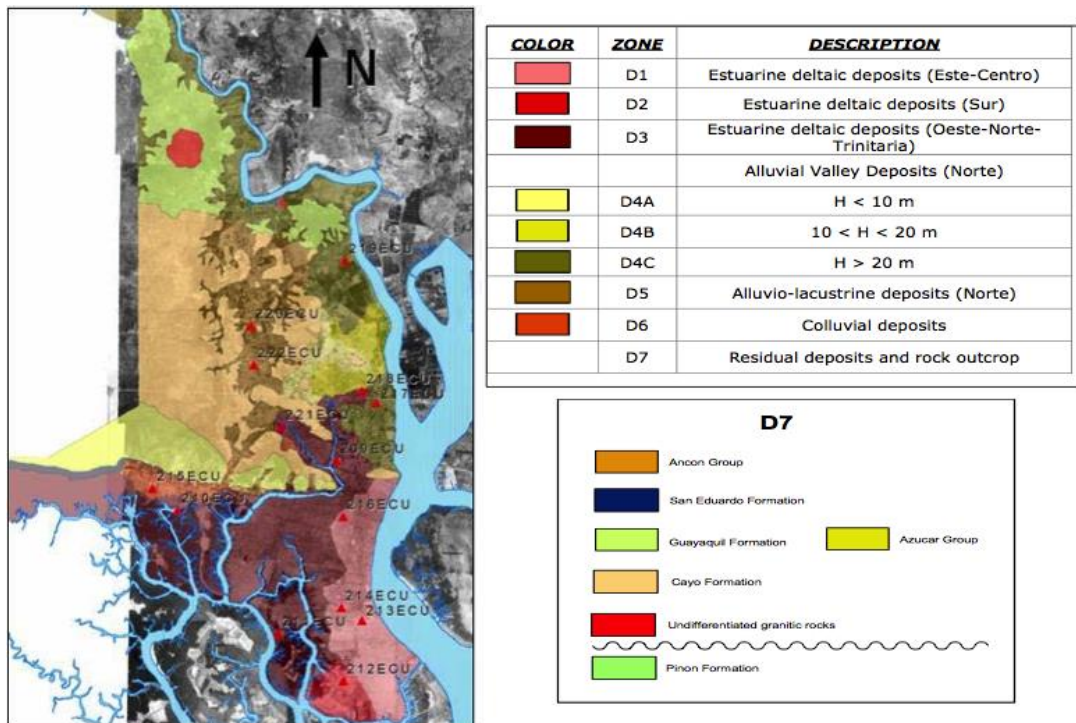


Figura 2 Mapa Geológico de la ciudad de Guayaquil (Vera et al., 2006)

1.3 Historia de los Sismos en Guayaquil

La ciudad de Guayaquil se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico y ha enfrentado este tipo de eventos desde su fundación. Las fuentes de información sobre estos eventos han sido variadas a lo largo del tiempo, desde las crónicas históricas, pasando por información de prensa, informes técnicos, hasta que en el año 1989 se instaló por primera vez una red de acelerógrafos locales que permiten un registro sísmico acorde con el estado del conocimiento actual. El daño ocasionado por los sismos ha sido variable de acuerdo a la época en la que ocurrieron. En sus inicios, la ciudad constaba de estructuras livianas de madera de pocos pisos, el material utilizado era de muy buena calidad y las técnicas navales de construcción utilizadas favorecían la resistencia de las estructuras a los sismos. El advenimiento de la construcción mixta y de edificios de hormigón armado incrementó el nivel de daño en estructuras por eventos sísmicos en la ciudad. A continuación se presenta una tabla que contiene datos importantes de los sismos ocurridos en la ciudad con una intensidad Mercalli mayor o igual a VI, los mismos que se encuentran recopilados en el Proyecto RADIUS (Risk Assessment tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic disasters) (IIFIUC, 1999):

Fecha	Latitud	Longitud	Profundidad (Km)	Magnitud	Intensidad Maxima
9 de julio de 1653	-	-	-	-	VII
11 de junio de 1787	-	-	-	-	VI
31 de enero de 1906	1.00	-81.50	25	8.60 Ms	VI
31 de mayo de 1914	-0.50	-78.48	-	6.30 Ms	VII
22 de julio de 1924	-2.00	-80.00	250	6.50 Ms	VI
2 de octubre de 1933	-2.00	-81.00	-	6.90 Ms	VII
13 de mayo de 1942	-0.75	-81.50	25	8.00 Ms	IX
30 de enero de 1943	-2.00	-80.50	100	6.90 Ms	VII
29 de marzo de 1946	-1.70	-80.90	-	5.70 Ms	VI
16 de enero de 1956	-0.50	-80.50	-	6.90 Ms	VI
26 de julio de 1971	-2.79	-77.35	88	7.50 Ms	VII
18 de agosto de 1980	-1.98	-80.03	74	6.10 Ms	VIII
3 de octubre de 1995	-2.77	-77.88	27	7.00 Ms	VI
4 de agosto de 1998	-0.54	-80.49	37	7.10 Ms	VI

Tabla 1 Sismos Ocurridos en la Ciudad de Guayaquil con Intensidades Mercalli Mayores a VI, Proyecto RADIUS (IIFIUC, 1999)

1.4 Efecto de Sitio

Las características geotectónicas del lugar donde se analizan los efectos de un sismo afectan en gran medida las propiedades del mismo. Esto se conoce como efecto de sitio y tiene un impacto considerable en el grado de amplificación de respuesta, contenido de frecuencias del registro e incluso su duración. La magnitud de estos efectos depende principalmente de las propiedades del material que se encuentra sobre el basamento rocoso, el espesor de las capas y la topografía de la zona.

La amplificación de respuesta de una frecuencia de excitación depende de la rigidez del suelo, espesor de la capa sobre la roca subyacente (H), la velocidad de onda de corte (v_s) y las características de amortiguamiento del suelo (ξ). Registros de sismos ocurridos alrededor del mundo comprueban los efectos de la variación de estos parámetros en la respuesta de sitio, existen además fundamentos teóricos que explican el fenómeno. Ignorando los efectos de amortiguamiento y dispersión existentes se puede asumir que el flujo de energía ($\rho v_s \dot{u}^2$) se mantiene constante en su camino a la superficie desde la roca basal, por lo que en capas más superficiales, que generalmente tienen menor densidad y las ondas de corte presentan menor velocidad, es claro que la velocidad de movimiento de terreno será mayor que su valor en la roca subyacente, por ende el fenómeno de amplificación. (Kramer, 1996). Uno de los parámetros más importantes en la determinación de la respuesta local es el periodo característico de sitio (T_s), en el cual ocurre la máxima amplificación de respuesta, esta es una propiedad dinámica del suelo y es aproximadamente igual a:

$$T_s \approx \frac{4H}{v_s} \quad (1.1)$$

Las propiedades del suelo y la distancia desde la fuente modifican las características del sismo registrado en un sitio específico. Es conocido que los suelos blandos amplifican los movimientos del sismo que contienen frecuencias más bajas (periodos más largos) y filtran las frecuencias altas,

mientras que en los suelos rígidos sucede lo contrario. De igual manera, a medida que las ondas sísmicas se alejan de su fuente, las componentes de frecuencia más altas se filtran más rápidamente que las frecuencias bajas. Este concepto es crítico, por ejemplo, en la respuesta estructural de edificios de mediana y gran altura sobre suelos blandos, lo cual es un caso frecuente en la ciudad de Guayaquil.

1.5 Fuentes Sismogénicas y Zonificación Sísmica de la Ciudad

De acuerdo a los resultados presentados en el Proyecto RADIUS, el riesgo de ocurrencia de un sismo en la ciudad de Guayaquil proviene principalmente de tres fuentes sismogénicas claramente definidas:

- Costa Noroeste del Ecuador: Corresponde a la zona de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana a lo largo de la costa del país. Esta zona posee un potencial de originar sismos de magnitud 8.0 Ms en la región sur y 9.0 Ms en la región norte.
- Zona Sur-Oriental del Ecuador: Consiste en un sistema de fallas inversas ubicado en las provincias de Morona Santiago y Zamora-Chinchipe. Posee un potencial de originar sismos de magnitud 7.2 Ms.
- Zona Local Próxima a Guayaquil: Corresponde a una fuente de sismos de relativa baja magnitud y gran profundidad, sin embargo la cercanía a la ciudad hace de ésta una fuente importante a considerar. Los estudios presentados indican que esta zona no podría generar sismos que superen la magnitud 6.5 Ms.

A partir de las características geotécnicas del suelo, y del estudio de las fuentes sismogénicas se puede aproximar la respuesta de las estructuras asentadas sobre un sitio específico. Se han realizado estudios y proyectos para definir manuales de diseño de estructuras sismo-resistente considerando las características de la ciudad. Se presentan dos estudios de zonificación sísmica de Guayaquil, el primero expone los resultados del proyecto RADIUS (1999) mientras que el segundo, desarrollado también por el IIFIUC (2001),

Según el Manual de Diseño de Estructuras Sismo-Resistentes para Guayaquil (2001) la zonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil divide este territorio en cuatro tipos de suelos, comparando la caracterización de los mismos con la clasificación utilizada en la norma UBC-97 para la determinación de los espectros de respuesta, la cual es idéntica a la clasificación de suelos propuesta por la NEC 11:

- Suelo Tipo I: Corresponde a las formaciones rocosas Piñón y Cayo que tienen una cobertura de suelo residual firme o roca meteorizada de menos de 3 metros de espesor, califican para una clasificación de suelo tipo Sb a Sc.
- Suelo Tipo II: Corresponde a los cerros Santa Ana y El Carmen, además del resto de formaciones rocosas de la ciudad, estos generalmente consisten en coberturas de suelos sueltos de más de 3 metros de espesor. Corresponde a una clasificación de suelo Sd.
- Suelo Tipo III: Consiste en los depósitos de suelo blando de tipo aluvial fluvio-lacustre y estuarino sobre un basamento de suelo muy denso o roca localizada a una profundidad menor a 30 metros. Se ubican principalmente en el norte de la ciudad, delimitados en su mayor parte por una franja de 200 metros aproximadamente que separa a los suelos tipo I o II del tipo IV. Corresponden a una clasificación de suelo Se.
- Suelo Tipo IV: Consiste en depósitos estuarinos profundos, sobre un basamento de suelo denso a una profundidad entre 30 y 60 metros. Forma parte de las zonas de manglares o antiguos manglares de la ciudad y se caracterizan por una alta plasticidad y contenido orgánico. Corresponden a una clasificación de suelo Sf.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD

2.1 Introducción

Los sismos son eventos que producen desplazamientos y aceleraciones rápidamente cambiantes y reversibles a lo largo de su tiempo de duración, por lo tanto, es de particular importancia resaltar la naturaleza dinámica del mismo y sus efectos en las estructuras. La forma en que un sistema estructural “responde” a solicitaciones sísmicas depende de las características dinámicas de la estructura, del comportamiento ante cargas cíclicas de los materiales que la componen y de las características y duración del sismo. Con el objetivo de poder entender e interpretar el comportamiento dinámico de un modelo estructural sometido a la acción de un sismo es necesario conocer los principios en los que se basa la dinámica estructural. Para ello se presentan los resultados de la misma en los modelos idealizados más simples: los sistemas de un grado de libertad (1GDL). Ejemplos de sistemas estructurales que pueden ser fácilmente idealizados como sistemas de un grado de libertad son tanques elevados, pórticos de un solo nivel, muelles o puertos de atraque y pilas de puentes.

2.2 Ecuación de Movimiento y Equilibrio Dinámico en Sistemas de 1GDL

A partir de un marco referencial se denota $u(t)$ como el desplazamiento del sistema idealizado y sus primeras y segundas derivadas con respecto al tiempo $\dot{u}(t)$ y $\ddot{u}(t)$ que representan la velocidad y aceleración del mismo, respectivamente.

Se considera que cada elemento estructural que compone el sistema aporta a las propiedades inerciales (relacionadas con la masa), elásticas (relacionadas con la rigidez) y de disipación de energía (relacionadas con el amortiguamiento) de la estructura. En la idealización de un sistema de 1GDL se considera sin embargo que cada una de estas propiedades se concentra

en 3 componentes claramente definidos: el componente inercial relacionado a la masa, el componente elástico relacionado con la rigidez y el componente de disipación de energía relacionado con el amortiguamiento.

Ante la acción de una fuerza externa o la imposición de condiciones iniciales, la estructura responde con fuerzas resistentes relacionadas con cada uno de sus componentes previamente definidos. La fuerza inercial f_I es igual al producto de la masa del sistema m por la aceleración de la misma. La fuerza f_S para un sistema lineal elástico se considera como el producto de la rigidez de la estructura k por el desplazamiento de la misma. Finalmente la fuerza de amortiguamiento f_D se considera proporcional a la velocidad del sistema, cuyo coeficiente de proporcionalidad c se denomina coeficiente de amortiguamiento viscoso.

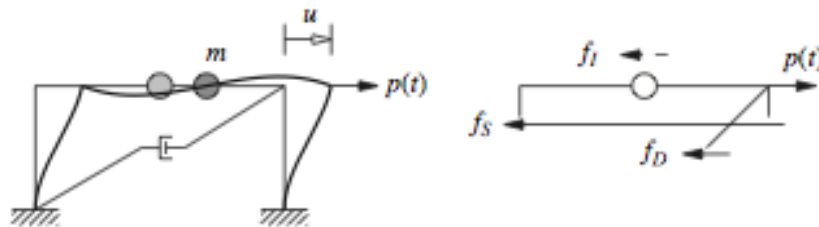


Figura 4 Fuerzas en Sistema 1GDL (Chopra, 2012)

Cabe recalcar que si bien las propiedades m y k del sistema pueden ser obtenidas en función de las dimensiones, materiales y disposición espacial de los elementos que la componen, el coeficiente c se obtiene de manera idealizada, ya que resulta imposible poder caracterizar matemáticamente cada uno de los mecanismos de disipación de energía de la estructura. En rasgos generales, la energía se disipa por diversos medios, entre ellos el rozamiento entre superficies de deslizamiento, fricción interna de los materiales que constituyen los elementos estructurales y vibraciones de la estructura situada en un medio exterior. Se pretende, por simplicidad, entonces tomar el coeficiente de amortiguamiento viscoso de manera que la energía que disipa sea igual a la energía disipada por todos estos mecanismos

mencionados juntos, esto se conoce como amortiguamiento viscoso equivalente. (Chopra, 2012; Bozzo y Barbat, 2004)

Finalmente, la ecuación general de movimiento para una estructura sometida a una fuerza externa, dentro del rango lineal elástico tiene esta forma:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2.1)$$

Donde $p(t)$ representa la fuerza externa aplicada a la estructura, la cual está en función del tiempo.

Mediante un análisis similar, se puede deducir la ecuación de movimiento que gobierna la respuesta de una estructura ante solicitaciones sísmicas. Considerando el desplazamiento del suelo $u_g(t)$ con respecto a un marco referencial fijo y el desplazamiento relativo de la masa con respecto al suelo $u(t)$, el desplazamiento total u^t se define como:

$$u^t(t) = u_g(t) + u(t) \quad (2.2)$$

Considerando los tres componentes internos del sistema estructural, únicamente el componente inercial se relaciona con la aceleración absoluta del sistema, la rigidez y el amortiguamiento se relacionan con las características del desplazamiento relativo (Chopra, 2012). Derivando dos veces la ecuación (2.2) se obtiene $\ddot{u}^t(t) = \ddot{u}_g(t) + \ddot{u}(t)$. Reemplazando y reordenando se obtiene la ecuación de movimiento para solicitaciones sísmicas:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.3)$$

Por lo tanto, se puede considerar que el efecto de un sismo en la estructura puede idealizarse como la acción de una fuerza externa $p(t) = -m\ddot{u}_g(t)$.

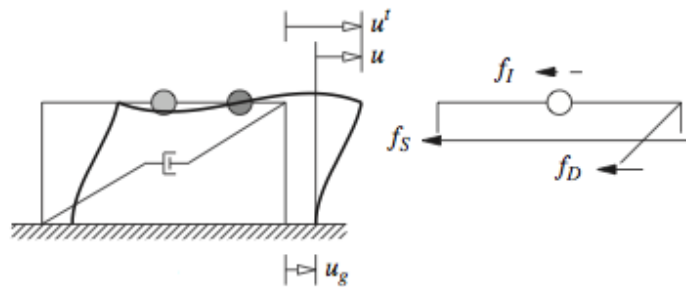


Figura 5 Sistema de 1GDL Sometido a Solicitaciones Sísmicas (Chopra, 2012)

La respuesta dinámica del sistema estructural ante una fuerza impuesta definida se puede caracterizar completamente al resolver la ecuación diferencial de segundo orden, dadas las condiciones iniciales $u(0)$ y $\dot{u}(0)$, para ello se pueden utilizar diversas herramientas, entre ellos métodos analíticos o métodos numéricos.

2.3 Sistema de 1GDL en Vibración Libre

Se dice que un sistema de 1GDL experimenta vibración libre cuando es sometido a condiciones iniciales de desplazamiento o velocidad y luego se lo deja vibrar sin la aplicación de ninguna excitación dinámica externa. (Chopra, 2012)

A lo largo de todo este documento se tratarán únicamente los sistemas de 1GDL amortiguados, ya que todas las estructuras reales presentan algún grado de amortiguamiento inherente.

La ecuación de movimiento de un sistema de 1GDL en vibración libre toma la siguiente forma:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad (2.4)$$

Dividiendo para m se tiene:

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = 0 \quad (2.5)$$

Donde:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.6)$$

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n} = \frac{c}{c_{cr}} \quad (2.7)$$

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (2.8)$$

Donde ω_n es la frecuencia natural de vibración del sistema, la cual se relaciona con el periodo natural de vibración del sistema T_n mediante la ecuación (2.8). El significado físico del periodo natural de vibración T_n es el tiempo requerido para que el sistema, si está no-amortiguado, complete un ciclo entero de vibración libre.

El término c_{cr} se denomina coeficiente de amortiguamiento crítico y es el mínimo valor de c para el cual un sistema en vibración libre regresa a su posición de reposo sin oscilar. Para valores menores de c el sistema oscila alrededor de su posición de reposo disminuyendo progresivamente su amplitud, mientras que para valores de c mayores que c_{cr} el sistema vuelve a su posición de reposo si oscilar, pero a una tasa de tiempo más corta. Por esta razón, resulta conveniente utilizar el término ζ , conocido como fracción de amortiguamiento crítico, ya que permite visualizar de una manera mucho más sencilla la naturaleza oscilatoria del sistema. En términos generales, los sistemas estructurales convencionales tienen un factor de amortiguamiento crítico por debajo de 0.10. (Chopra, 2012)

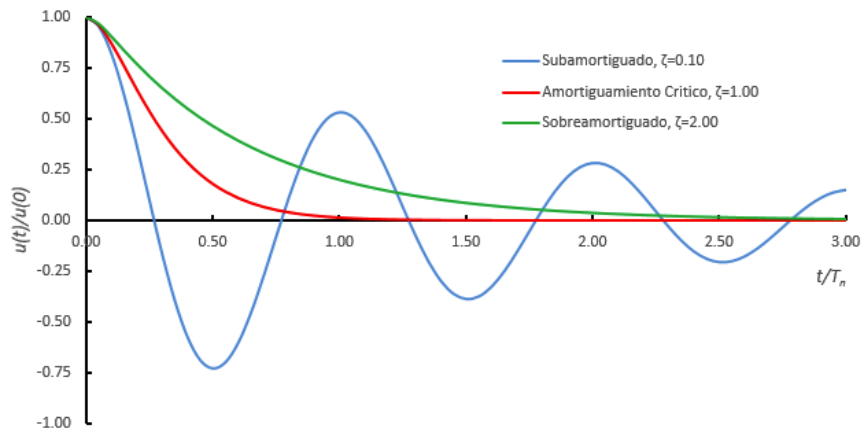


Figura 6 Respuesta en Vibración Libre de Sistemas con Diferentes Fracciones de Amortiguamiento Crítico

Como se ha mencionado anteriormente, todas las estructuras de interés en la rama de la ingeniería civil se encuentran por debajo del amortiguamiento crítico, es decir $\zeta < 1$. En este caso, la solución de la ecuación diferencial (2.5) es:

$$u(t) = e^{-\zeta\omega_n t} \left[u(0) \cos \omega_D t + \frac{\dot{u}(0) + \zeta\omega_n u(0)}{\omega_D} \text{sen } \omega_D t \right] \quad (2.9)$$

Donde:

$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (2.10)$$

El término definido en la ecuación (2.10) se conoce como frecuencia de vibración amortiguada, de igual manera se puede definir el periodo de vibración del sistema amortiguado $T_D = 2\pi/\omega_D$.

El efecto más importante del amortiguamiento, es la tasa de decaimiento en la amplitud de la vibración libre. Se puede comprobar fácilmente que la razón entre dos picos sucesivos en vibración libre amortiguada viene dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{u_i}{u_{i+1}} = e^{\frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad (2.11)$$

Para valores pequeños de amortiguamiento, la variación del exponente de la última ecuación es prácticamente lineal con respecto a la razón de amortiguamiento ζ . En la siguiente figura se ilustra el efecto del amortiguamiento en la reducción de la amplitud de vibración, se observa que a mayores tasas de amortiguamiento se requiere un número mucho menor de ciclos para pasar a tener una amplitud casi imperceptible.

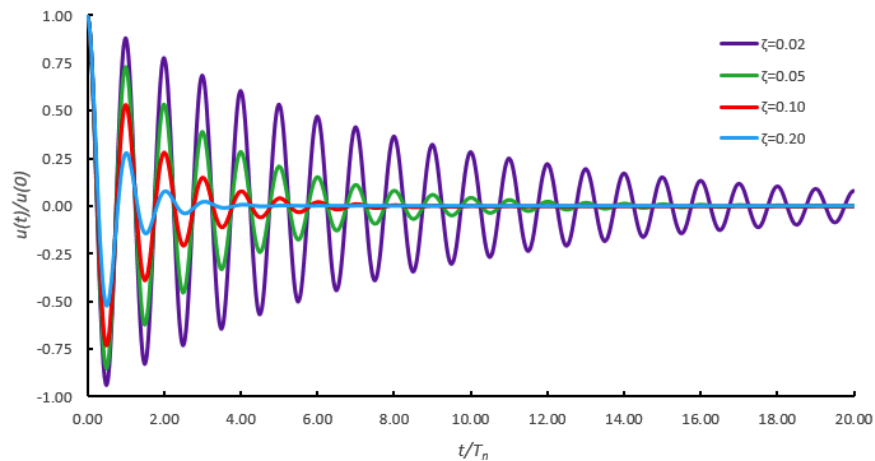


Figura 7 Vibración Libre Amortiguada $\zeta=2, 5, 10, 20\%$

2.4 Sistema de 1GDL en Vibración Forzada

Un sistema de 1GDL se dice que está en vibración forzada, si se encuentra sometido a una excitación externa, es decir, el término del lado derecho de la ecuación (2.1) es no nulo. Un primer objeto de estudio de este tipo es la aplicación de una fuerza armónica con amplitud p_0 y frecuencia excitadora ω . (Chopra, 2012; Soong y Dargush, 1997)

Considérese la ecuación:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_0 \text{sen } \omega t \quad (2.12)$$

Matemáticamente la solución de esta ecuación diferencial consta de dos partes, la solución complementaria, que es la solución de la ecuación diferencial igualada a cero (vibración libre), y la solución particular que

depende de las características de la excitación externa. Desde el punto de vista físico, éstas representan dos componentes de respuesta dinámica de la estructura: la primera representa la respuesta transitoria, mientras que la segunda representa la respuesta estacionaria. La razón de estos nombres es que, ante la presencia de amortiguamiento, la respuesta transitoria decae con el tiempo siendo eventualmente imperceptible, mientras que la respuesta estacionaria, relacionada con la excitación externa, permanece a lo largo del período de aplicación de la carga y tiende a caracterizar el comportamiento dinámico de la estructura luego de cierto tiempo. (Chopra, 2012; Bozzo y Barbat 2004, Soong y Dargush, 1997).

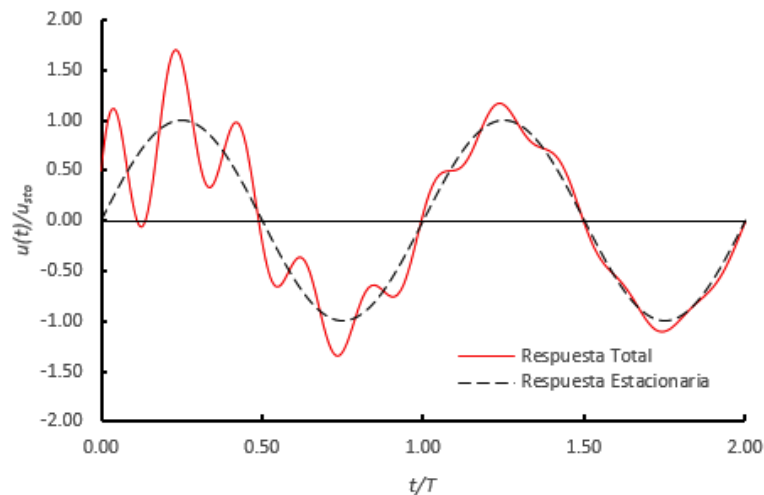


Figura 8 Respuesta de un Sistema Amortiguado a una Excitación Armónica. ($\zeta=0.05$)

La solución de la ecuación (2.12) es la siguiente:

$$u(t) = e^{-\zeta\omega_n t} (A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t) + \frac{P_0}{k} R_d \sin(\omega t - \phi) \quad (2.13)$$

Donde:

$$R_d = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right)^2}} \quad (2.14)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2\zeta(\omega/\omega_n)}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \quad (2.15)$$

Los términos A y B se pueden obtener a partir de las condiciones iniciales de desplazamiento y velocidad. El término R_d es el factor de amplificación de respuesta de desplazamiento y ϕ es el ángulo de fase, ambos dependen del amortiguamiento del sistema y de la razón entre las frecuencias de la excitación y la frecuencia natural del sistema. El primero de estos términos representa la razón entre la amplitud de la respuesta dinámica estacionaria y la amplitud estática (ignorando los efectos dinámicos) que se caracteriza por la siguiente ecuación:

$$u_{st}(t) = \frac{P_0}{k} \text{sen } \omega t \quad (2.16)$$

Cuyo valor máximo es $u_{sto} = \frac{P_0}{k}$.

El segundo representa una magnitud del tiempo de atraso de la respuesta dinámica con respecto a la respuesta estática. Ambas propiedades se pueden ilustrar en el gráfico siguiente:

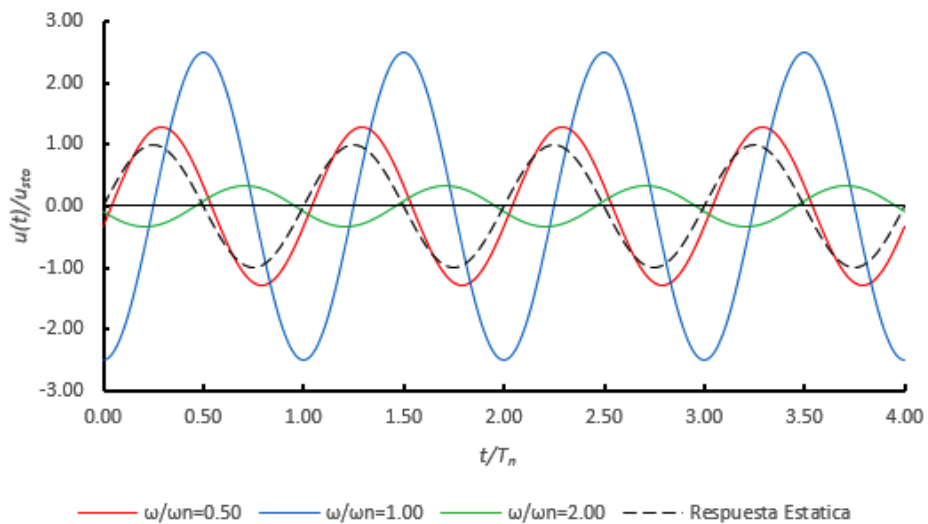


Figura 9 Comparación entre las Respuestas Estacionarias de un Sistema Amortiguado ($\zeta=0.20$) para Diferentes Relaciones de Frecuencias ω/ω_n

Se aprecia claramente en la figura la influencia del factor de amplificación de respuesta y el ángulo de fase, los cuales para un mismo valor de amortiguamiento del sistema ($\zeta = 0.20$), varían de acuerdo a las diferentes razones de frecuencias ω/ω_n consideradas, tomando como referencia absoluta la respuesta estática $u_{st}(t)$ (en líneas punteadas). Se observa que el factor de amplificación de respuesta R_d es igual a 1.29, 2.50 y 0.32 para las razones de frecuencias 0.50, 1.00 y 2.00 respectivamente. De igual manera se pueden citar los valores del ángulo de fase. Resulta más conveniente graficar los valores de ambas propiedades en función de la relación de frecuencia, con lo cual se obtienen las siguientes curvas para distintos valores de amortiguamiento:

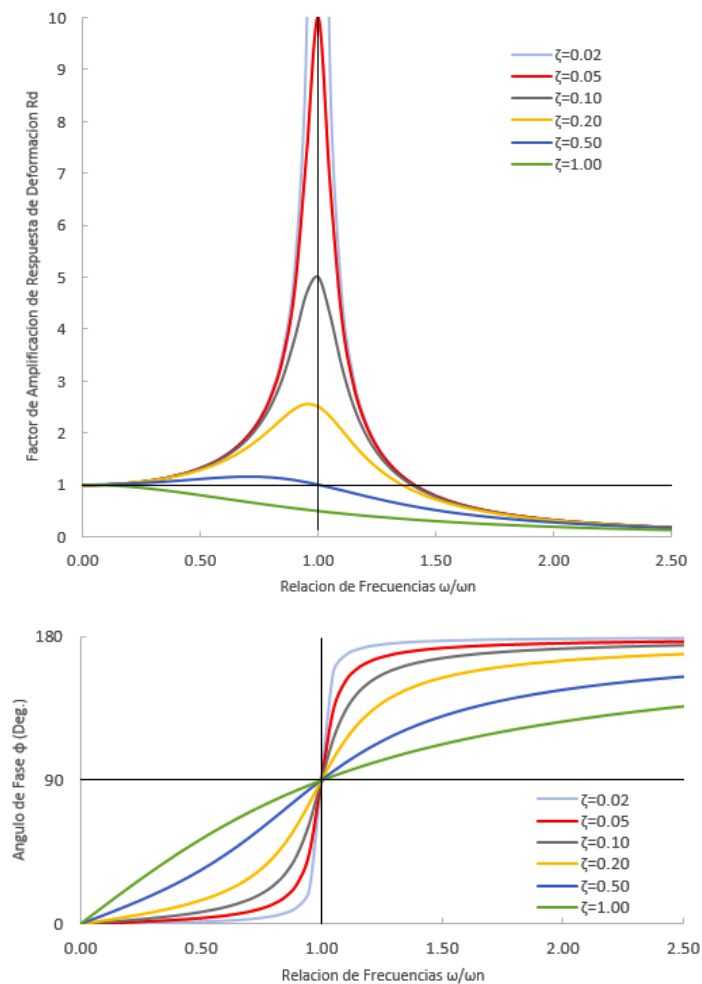


Figura 10 Factor de Amplificación de Respuesta de Desplazamiento y Ángulo de Fase de Sistemas Amortiguados Sometidos a Excitaciones Armónicas

Chopra (2012) cita las siguientes observaciones a partir del gráfico anterior con respecto a la variación del factor de amplificación R_d :

- Para razones de frecuencia pequeñas ($\omega/\omega_n \ll 1$), es decir, la fuerza excitadora varía muy lentamente, el valor de R_d es muy cercano a la unidad, por lo tanto se puede considerar que la respuesta es independiente del amortiguamiento. En este caso, la respuesta está controlada por la rigidez del sistema:

$$u_0 \simeq u_{sto} = \frac{P_0}{k} \quad (2.17)$$

- Para razones de frecuencia altas ($\omega/\omega_n \gg 1$), es decir, la fuerza excitadora varía rápidamente, el valor de R_d tiende a cero, y la respuesta se considera también no afectada por el amortiguamiento. En este caso, la respuesta está controlada por la masa del sistema:

$$u_0 \simeq u_{sto} \frac{\omega_n^2}{\omega^2} = \frac{P_0}{m\omega^2} \quad (2.18)$$

- Para razones de frecuencia cercanas a la unidad ($\omega/\omega_n \cong 1$), es decir, la frecuencia excitadora es cercana a la frecuencia natural del sistema, el valor de R_d es muy sensible al amortiguamiento, para valores pequeños de amortiguamiento, puede llegar a ser muy grande. En este caso, la respuesta está controlada por el amortiguamiento del sistema:

$$u_0 \simeq \frac{u_{sto}}{2\zeta} = \frac{P_0}{c\omega_n} \quad (2.19)$$

Chopra (2012) hace también ciertas observaciones con respecto a la variación del ángulo de fase ϕ :

- Para razones de frecuencia pequeñas ($\omega/\omega_n \ll 1$), ϕ tiende a cero, lo cual significa que la respuesta se encuentra en fase con la excitación (si la fuerza se ejerce en una dirección, el sistema se desplaza en esa misma dirección).
- Para razones de frecuencia altas ($\omega/\omega_n \gg 1$), ϕ tiende a 180° , por lo que el sistema se encuentra desfasado en sentido opuesto a la excitación externa (si la fuerza actúa en una dirección, el sistema se desplaza en la dirección contraria).
- Para razones de frecuencia cercanas a la unidad ($\omega/\omega_n \cong 1$), ϕ tiende a 90° , por lo que el sistema alcanza los picos de desplazamiento cuando la fuerza excitadora es cero y viceversa.

Se puede extender los resultados de la aplicación de fuerzas armónicas a un sistema amortiguado de 1GDL a cualquier función de tipo periódica, en la vida real éstas pueden incluir vibraciones de máquinas, efectos de oleaje, efectos aerodinámicos en estructuras esbeltas como chimeneas y puentes suspendidos, entre otros. Esta extensión es posible mediante el uso de la serie de Fourier, una representación de una función de forma arbitraria de tipo periódica mediante sumatorias de funciones armónicas simples (senos y cosenos):

$$p(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^{\infty} (a_j \cos j\omega_0 t + b_j \text{sen } j\omega_0 t) \quad (2.20)$$

$$a_j = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} p(t) \cos j\omega_0 t \, dt ; \quad j = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.21)$$

$$b_j = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} p(t) \text{sen } j\omega_0 t \, dt ; \quad j = 1, 2, 3, \dots \quad (2.22)$$

Las sumatorias de las expresiones anteriores requieren un número infinito de términos para lograr la igualdad en las ecuaciones, sin embargo, en la práctica, se requieren unos cuantos términos de las series para lograr una convergencia aceptable. Una vez expresada la función en la notación de las series de Fourier la respuesta del sistema se obtiene combinando las respuestas de cada término armónico utilizado. (Chopra, 2012)

2.5 Sistema de 1GDL Sometido a Fuerzas en Forma de Pulsos

La importancia de estudiar la respuesta de un sistema de 1GDL ante una fuerza impulsiva es que una excitación dinámica arbitraria, que no obedezca ningún comportamiento periódico ni una expresión explícita en función del tiempo, puede aproximarse como la superposición de una secuencia de pulsos de corta duración. Una vez hecha la discretización de la fuerza dinámica, ésta puede ser analizada mediante métodos numéricos.

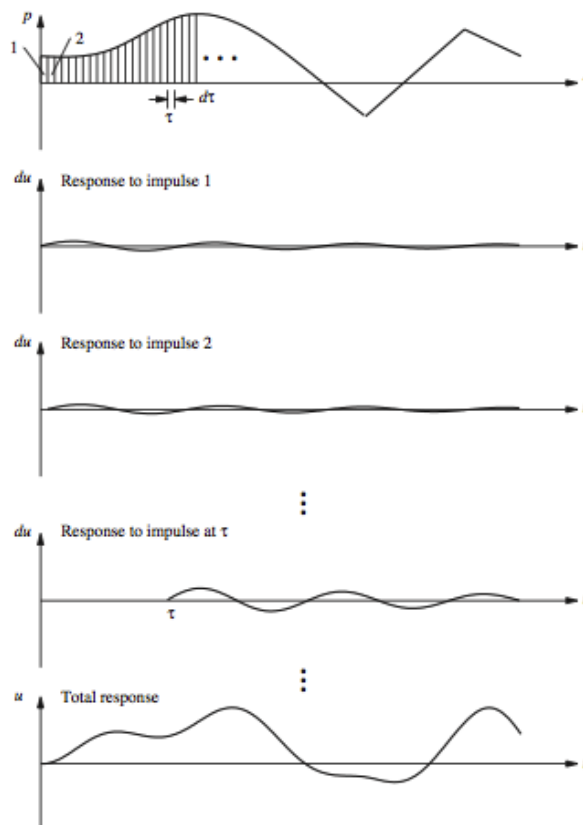


Figura 11 Superposición de pulsos para obtener la respuesta a una excitación arbitraria (Chopra, 2012)

Si la fuerza excitadora es un único pulso de duración t_d , su respuesta máxima puede determinarse en función de la duración de ese pulso. Un gráfico que exprese la respuesta máxima normalizada R_d en función de la relación entre la duración del pulso y el periodo natural del sistema se denomina espectro de choque. Como se presentará más adelante, el efecto del amortiguamiento de un sistema bajo un pulso de choque no es tan importante como el caso de excitaciones armónicas. La respuesta del sistema parece depender más del área encerrada bajo la curva de fuerza-duración del pulso externo, que de la forma del mismo, como se puede apreciar en la gráfica siguiente, donde se presenta la respuesta de un sistema no amortiguado bajo la acción de 3 tipos de pulsos: un pulso rectangular, un pulso con forma de medio seno, y otro de forma triangular, todos de igual área en su curva de fuerza-duración.

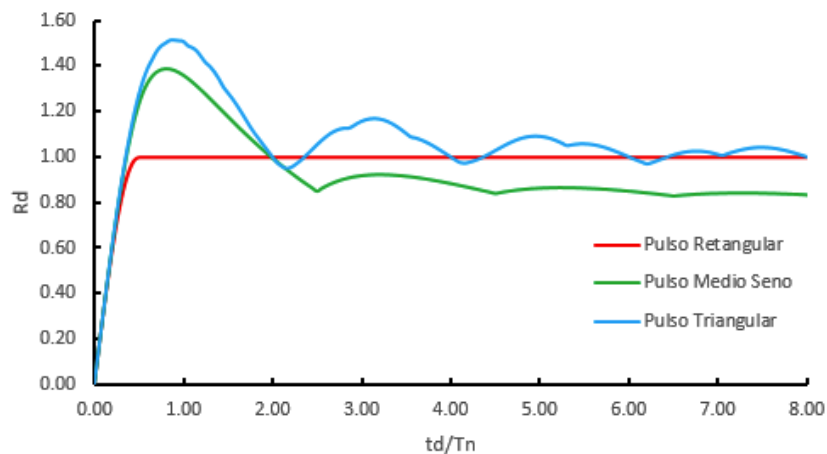


Figura 12 Espectro de Choque Con Pulsos de Igual Área, pero Diferentes Formas, en un Sistema No-Amortiguado

El efecto del amortiguamiento en la respuesta de un sistema ante un pulso de choque no es tan importante como en el caso de una excitación armónica. Esto es importante de recordar al momento de que una estructura sea sometida a un evento que produzca excitaciones de tales características, por ejemplo una explosión. Para eventos de este tipo es común ignorar los efectos de amortiguamiento con lo cual se producen resultados ligeramente conservadores. En la siguiente figura se observa el espectro de choque de un

pulso en forma de medio seno ejercido sobre un sistema para diferentes grados de amortiguamiento:

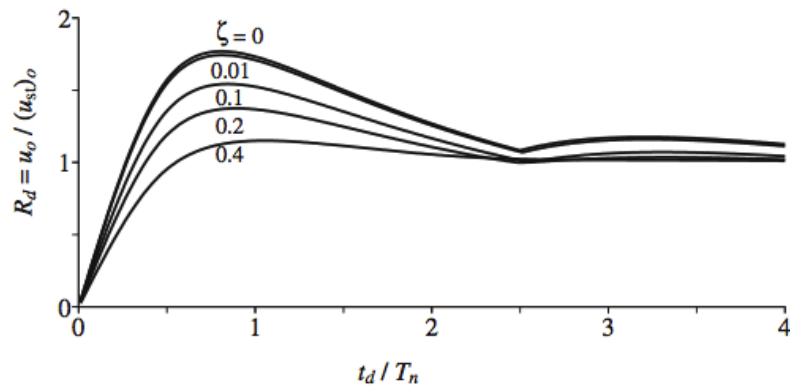


Figura 13 Efecto del Amortiguamiento en un Sistema Bajo un Pulso de Choque de Forma Medio Seno ($\zeta=0.00, 0.01, 0.10, 0.20, 0.40$) (Chopra, 2012)

2.6 Sistema de 1GDL Sometido a los Efectos de un Sismo

La respuesta de un sistema ante los efectos de un sismo puede obtenerse mediante la ecuación (2.3). Conociendo las propiedades del sistema (masa, amortiguamiento y rigidez) se puede calcular su respuesta al sismo como si fuera una fuerza externa excitadora externa $-m\ddot{u}_g(t)$, por lo tanto, basta con conocer el valor de $\ddot{u}_g(t)$ para que el problema quede completamente determinado.

Las aceleraciones producidas por los sismos en el suelo no obedecen ninguna ley conocida, por lo tanto, tratar de determinar el valor de las mismas para cada instante de tiempo de manera analítica es poco probable. Por fortuna, se han utilizado desde hace algún tiempo instrumentos para medir y registrar el efecto de los sismos.

A lo largo de la historia, la humanidad ha buscado entender el comportamiento y el origen de los terremotos, pero no fue hasta finales del siglo XIX que se desarrollaron instrumentos más sofisticados para registrar los movimientos (desplazamientos) producidos por un sismo, estos instrumentos son llamados sismógrafos. En contraste, los acelerógrafos, cuyos primeros

modelos se desarrollaron en la década de 1930, permiten registrar las aceleraciones que produce un evento sísmico en el suelo, y por lo tanto, son las herramientas que facilitan en mayor medida la obtención de la respuesta dinámica de un sistema ante este tipo de excitaciones. Además de las ventajas de poder registrar eventos de magnitud considerable cercanos al epicentro, y de poder visualizar los efectos de sitio, la razón por la cual se utilizan los registros de aceleraciones para los cálculos numéricos es porque la integración numérica es más precisa que la derivación numérica, por lo que se considera más acertado utilizar registros de aceleraciones para obtener las respectivas velocidades y desplazamientos, que utilizar los desplazamientos para obtener velocidades y aceleraciones. (Villaverde, 2009)

En la actualidad, existe una gran cantidad de dispositivos de medición muy avanzados alrededor del mundo, y existe un número considerable de registros acelerográficos obtenidos, lo cual ha permitido la caracterización y zonificación sísmica en muchos países, reflejado en sus códigos sismo-resistentes.

A continuación se presenta el acelerograma del sismo de Imperial Valley en 1940. Los datos corresponden a la componente Norte-Sur del sismo y fueron registrados en El Centro, California. Los datos numéricos a partir de los cuales se elaboró la gráfica del registro corresponden a un $\Delta t = 0.02 \text{ seg.}$

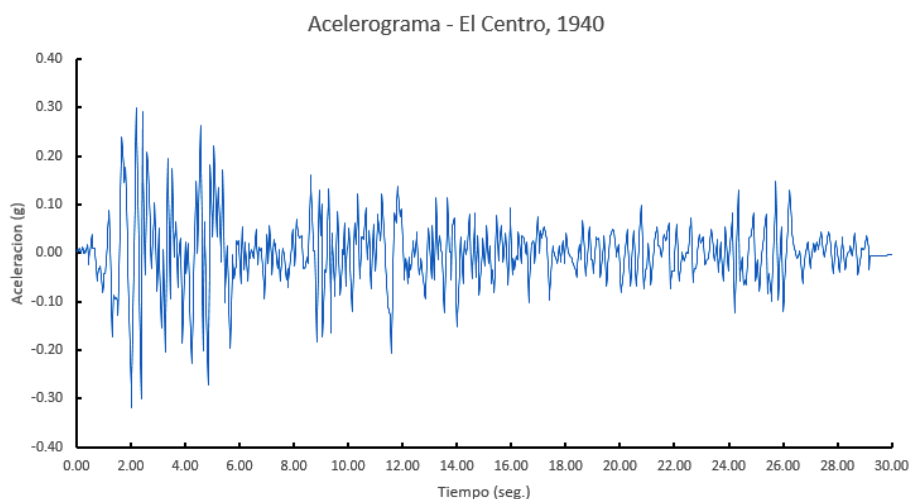


Figura 14 Acelerograma Sismo Imperial Valley, registro de El Centro, 1940
(http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/a.k.chopra/el_centro_data)

A partir de los datos numéricos de los registros, usualmente tomados cada 0.005, 0.010 o 0.020 segundos, se puede discretizar la excitación sísmica como pulsos de duración muy pequeña tal como se anticipó en la sección 2.5 y así obtener la respuesta total del sistema mediante métodos numéricos. Aunque existe una gama de métodos que pueden utilizarse para caracterizar la respuesta del sistema, todos generalmente se basan en obtener la respuesta de un pulso individual en el tiempo t_i , a partir de las condiciones iniciales en ese periodo de tiempo, es decir, de las condiciones finales del periodo de tiempo t_{i-1} .

La respuesta del sistema ante una fuerza excitadora depende del periodo natural del sistema y de su amortiguamiento, al variar estas propiedades, se obtienen diferentes magnitudes de respuesta. En particular, es de interés la máxima respuesta obtenida a medida que se consideran sistemas de diferente periodo natural, manteniendo un valor fijo de amortiguamiento. La gráfica que permite visualizar estos valores máximos (en valor absoluto) en función del periodo natural del sistema recibe el nombre de espectro de respuesta, éstos constituyen una herramienta ampliamente utilizada en las técnicas de diseño sismo-resistente actuales, ya que resume de una manera sencilla los posibles efectos de un sismo en una estructura.

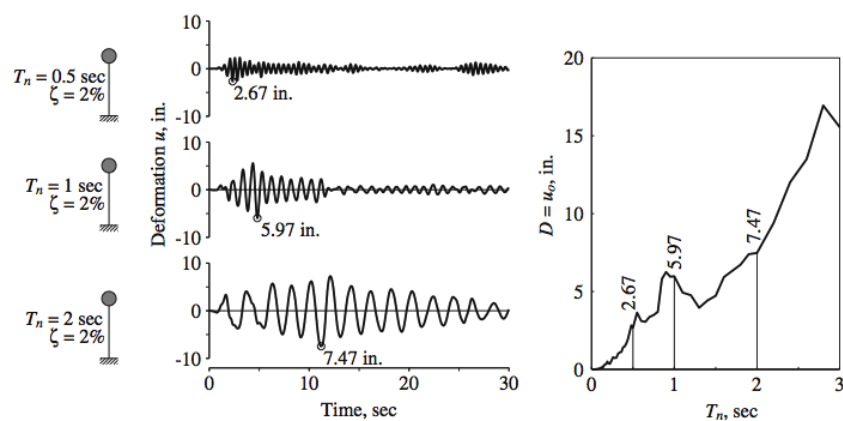


Figura 15 (Izq.): Respuesta de desplazamiento ante un mismo sismo en estructuras con diferente periodo natural de vibración, mismo amortiguamiento. (Der.) Espectro de Respuesta de Desplazamiento. (Chopra, 2012)

El espectro de desplazamientos no es el único que es de utilidad para los ingenieros civiles, se pueden obtener con el mismo principio espectros de velocidad y de aceleración, considerando la respuesta del sistema, sin embargo, éstos no son muy utilizados, debido a que no proveen de información de gran utilidad. En lugar de estos dos espectros, se utilizan los llamados pseudo-espectros de respuesta de velocidad y de aceleración, los cuales están íntimamente relacionados con el espectro de respuesta de desplazamiento.

Sea $D(T_n)$ la ordenada del espectro de desplazamiento correspondiente al periodo T_n . Se definen las ordenadas $V(T_n)$ y $A(T_n)$ de los pseudo-espectros de velocidad y aceleración del sistema respectivamente, mediante las siguientes ecuaciones:

$$V(T_n) = \omega D(T_n) = \frac{2\pi}{T_n} D(T_n) \quad (2.23)$$

$$A(T_n) = \omega^2 D(T_n) = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 D(T_n) \quad (2.24)$$

El pseudo-espectro de velocidad está directamente ligado al máximo valor de la energía de deformación del sistema durante un evento sísmico, mientras que el pseudo-espectro de aceleración está directamente ligado con el cortante basal en un sistema durante el sismo. Es por esta razón que se utilizan estos espectros en lugar de los espectros de velocidad relativa y de aceleración total, los pseudo-espectros proporcionan información valiosa del sistema durante un sismo, que permiten determinar parámetros fundamentales para el diseño sismo-resistente de una estructura.

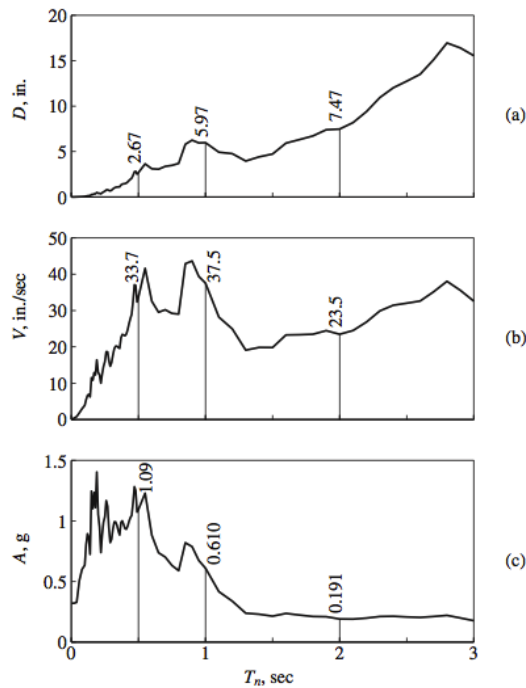


Figura 16 Espectros de Respuesta ($\zeta=0.02$) para el registro de El Centro, 1940 (a) Espectro de Desplazamiento, (b) Pseudo-Espectro de Velocidad, (c) Pseudo-Espectro de Aceleración (Chopra, 2012)

2.7 Respuesta Inelástica de un Sistema de 1GDL

En el método de diseño convencional, las estructuras son diseñadas de manera que durante un sismo, las mismas puedan disipar energía mediante deformaciones inelásticas, este concepto implica que las estructuras sufrirán daño en sus elementos estructurales. Este daño tiene que ser tal que no sea tan extenso o grave para que sea irreparable, o su reparación sea excesivamente costosa, y definitivamente se tiene que evitar el colapso de la misma. Dependiendo del uso que se le vaya a dar a la estructura, se puede inclusive requerir que el nivel de daño sea leve de manera que ésta pueda ser utilizada de manera inmediata. La razón por la cual el diseño convencional es concebido de tal manera es porque diseñar una estructura que responda de manera elástica en un sismo sería excesivamente costoso, y el sistema estructural muy robusto.

Las ecuaciones de movimiento analizadas hasta este punto corresponden a un sistema elástico, en el cual la rigidez del sistema k es constante. La curva histerética definida en un sistema elástico corresponde a la de una línea recta, sin embargo, si la estructura incursiona en el rango inelástico exhibirá un comportamiento no-lineal con la forma de lazos histeréticos como se mostrará a continuación. Si la estructura deja de ser excitada por una carga cíclica, ésta no volverá a su posición original, sino que tendrá como secuela una deformación permanente. La energía disipada por este mecanismo es el área encerrada por cada uno de los lazos histeréticos.

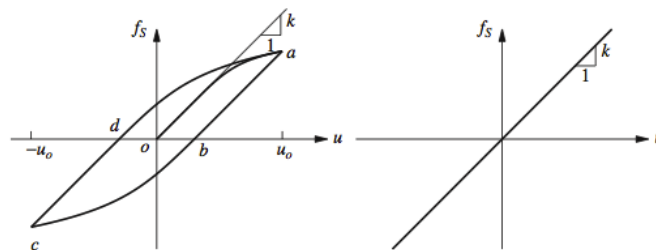


Figura 17 Curva Histerética Formada en el Rango (Izq.) Inelástico, (Der.) Elástico (Chopra, 2012)

La ecuación de movimiento analizada puede ser fácilmente extendida a un sistema inelástico si se reemplaza la fuerza elástica ku por una fuerza inelástica $f_s(u)$ la cual depende del historial de deformaciones del sistema. La forma de los lazos histeréticos formados por una carga reversible depende del tipo de material que se considere y de las cargas a las que esté sometido. Estas curvas son obtenidas mediante ensayos de laboratorio de materiales y secciones, sin embargo existen también modelos matemáticos que permiten idealizar este comportamiento.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u) = p(t) \quad (2.25)$$

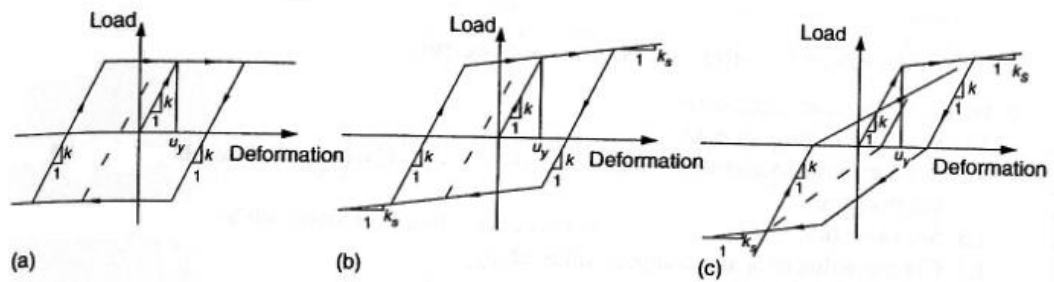


Figura 18 Modelos Idealizados de Curvas Histeréticas, (a) Modelo Elastoplástico Perfecto, (b) Modelo Bilineal, (c) Modelo de Degradación de Rigidez (Villaverde, 2009)

El proceso de solución de la ecuación de movimiento es no-lineal e iterativo, ya que la fuerza $f_s(u)$ depende el historial de deformaciones del sistema a lo largo del tiempo. Sin embargo, los métodos numéricos utilizados para resolver la ecuación de movimiento para el caso de una estructura elástica sometida a un sismo pueden adaptarse también para resolver la ecuación de movimiento en este caso si se conoce el modelo que gobierna el comportamiento inelástico del sistema.

Los efectos del comportamiento inelástico en las deformaciones máximas de un sistema son notables en el proceso de disipación de energía como se puede observar en la figura 19, donde \bar{f}_y es la relación entre la magnitud de la carga de fluencia del sistema y la carga aplicada por el sismo. Se puede observar también el efecto con respecto a las deformaciones permanentes.

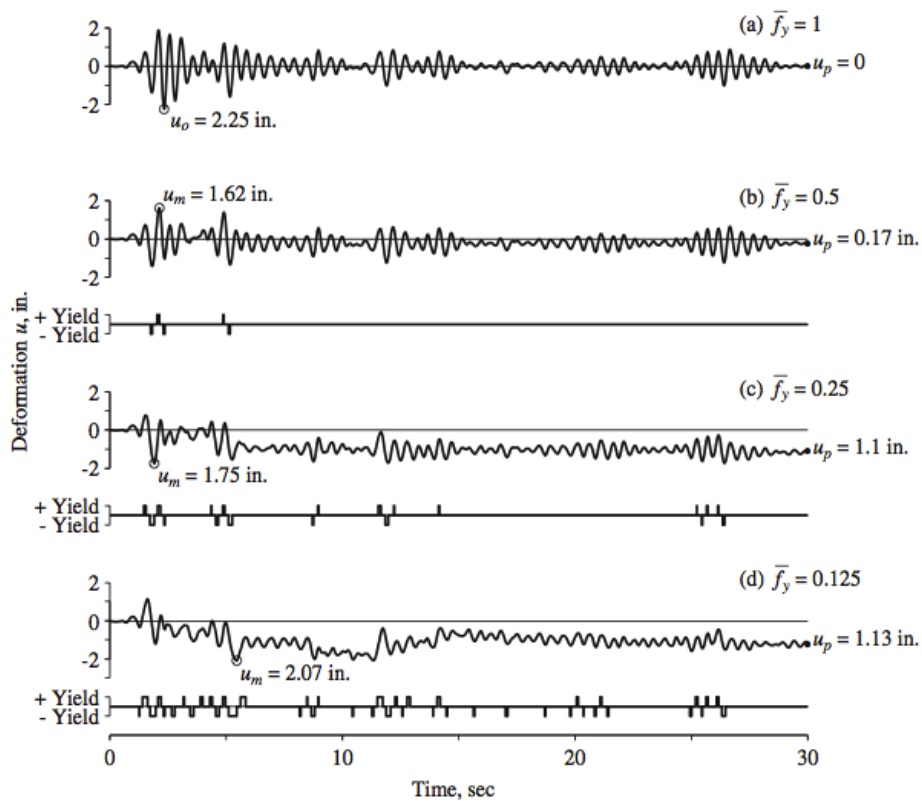


Figura 19 Efectos de la Inelasticidad en un Sistema para diferentes grados de fuerza de fluencia normalizada \bar{f}_y (Chopra, 2012)

2.8 Mecanismos de Disipación de Energía

El problema de la respuesta de un sistema estructural sometido a una carga dinámica puede ser tratado desde un punto de vista energético. Un sistema cualquiera que tenga propiedades de masa, amortiguamiento y rigidez tiene que distribuir la energía de entrada (impuesta por la excitación externa) de manera que cada uno de los mecanismos de disipación internos toma una fracción de la acción externa. Entre los mecanismos de disipación de energía de un sistema se encuentran la energía cinética, la energía de deformación elástica recuperable, la energía disipada por deformación inelástica no recuperable y la fricción interna, rozamiento, vibraciones, etc., las últimas se consideran como un conjunto en la energía disipada por

amortiguamiento. Integrando la ecuación de movimiento (2.7) se puede representar en una nueva ecuación el balance energético que ocurre en la dinámica estructural:

$$E_K + E_D + E_S + E_Y = E_I \quad (2.26)$$

Donde E_I es la energía de entrada proporcionada por la excitación externa, E_K es la energía cinética del sistema, E_D la energía disipada por amortiguamiento y E_S, E_Y las energías de deformación elástica e inelástica respectivamente. Los valores de cada una de ellas son las siguientes:

$$E_I = \int p(t) du \quad (2.27)$$

$$E_K = \int_0^u m \ddot{u} du = \int_0^{\dot{u}} m \dot{u} d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2} \quad (2.28)$$

$$E_D = \int c \dot{u} du \quad (2.29)$$

$$E_Y = \int f_s(u) du - E_S \quad (2.30)$$

Los valores de E_K y E_S se pueden obtener fácilmente, ya que dependen de las condiciones elásticas del sistema, el término E_D depende del factor de amortiguamiento del sistema, que como se ha dicho es complicado determinar con certeza, sin embargo existen varios procedimientos para poder aproximar el amortiguamiento inherente en un sistema real, a partir de resultados experimentales. Y por último el término E_Y depende de la capacidad de incursión en el rango inelástico del sistema, por lo tanto, un mismo sistema, dependiendo de la magnitud de fuerza de excitación externa y su capacidad final inelástica (relacionado con su ductilidad) incursionará en mayor o menor medida en el rango inelástico, con lo que disipará mayor o menor cantidad de energía por medio de este mecanismo.

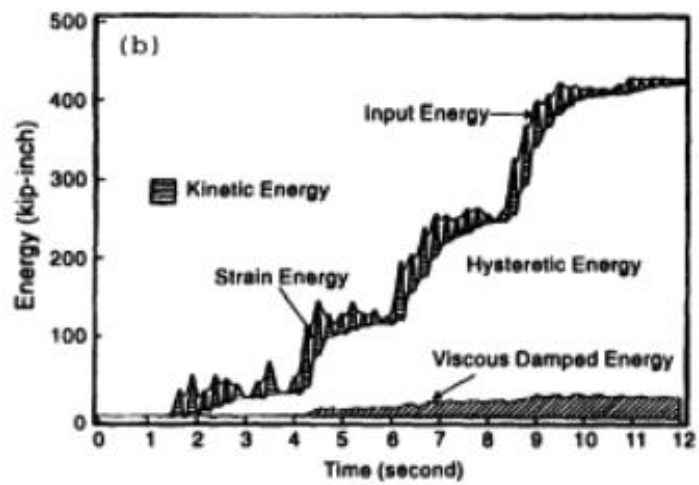
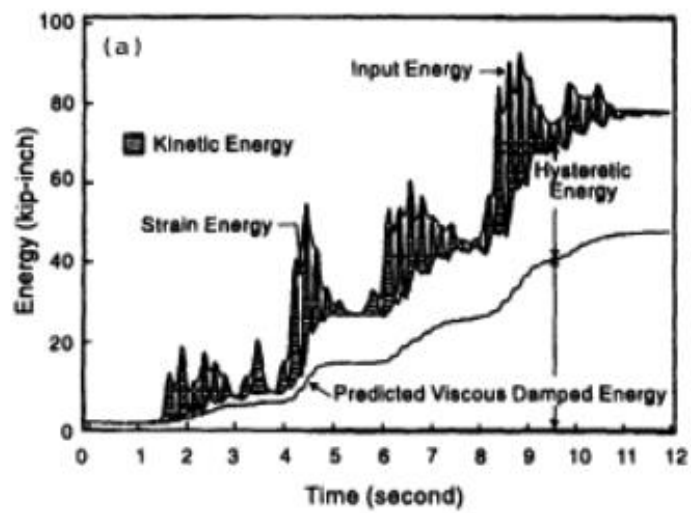


Figura 20 Respuesta de un Sistema Desde el Punto de Vista Energético, (a) Sismo Leve, Estado Límite de Control de Dano, (b) Sismo Severo, Estado Límite de Colpaso. (Uang y Bertero, 1986)

CAPÍTULO 3 PROPIEDADES DEL ACERO

3.1 Introducción

Los disipadores histeréticos de fluencia basan su principio de disipación de energía en la plastificación de metales. Este mecanismo puede ser logrado de diversas maneras, las cuales se dividen principalmente en dos ramas: la extrusión del material y los esfuerzos estructurales que llevan a deformaciones inelásticas por mecanismos de flexión, cortante, torsión, axial o cualquier combinación de ellos. El material más utilizado para estos procesos es el acero, debido a su bajo costo y sus propiedades adecuadas para la función requerida, excepto para el caso de disipadores por extrusión de metales, en el cual generalmente se utiliza el plomo. (Villarreal y Oviedo, 2009)

Aunque existe una gran variedad de dispositivos metálicos de disipación de energía, con diversas configuraciones, geometrías y mecanismos de acción, el principio en el que se basan es el mismo: la deformación inelástica del acero. En general, la respuesta histerética del disipador se obtiene a partir de ensayos de materiales y de ensayos al mismo dispositivo bajo sollicitaciones similares a las que se estima podría llegar a enfrentar, sin embargo, se han desarrollado modelos analíticos que buscan caracterizar el comportamiento general del elemento, los cuales usualmente deben ser calibrados para lograr ajustarse a datos experimentales. En esta sección se pretende describir las principales propiedades del acero como material estructural y los diversos modelos desarrollados que buscan caracterizar de manera matemática su comportamiento.

3.2 Curva Esfuerzo-Deformación

La curva de esfuerzo-deformación del acero permite visualizar algunas de las propiedades más importantes a nivel constitutivo de este material, las cuales son utilizadas frecuentemente en el diseño de miembros estructurales. Esta curva es la base de la caracterización del comportamiento del acero ante cargas estáticas, sin embargo, muchos de sus parámetros aparecen también en la respuesta ante sollicitaciones dinámicas. Este diagrama se obtiene a partir de ensayos de especímenes sometidas a tensión uniaxial, la cual se incrementa de manera muy lenta hasta la rotura. La velocidad en la que se aplica la carga afecta la forma de la curva de esfuerzo-deformación: para una probeta a temperatura ambiente, un aumento en la velocidad de aplicación generalmente produce un ligero incremento en las resistencias de fluencia y última, sin embargo este incremento es del orden del 5 al 10% para velocidades de deformación similares a las presentadas en un evento sísmico por lo que no se considera un efecto importante en estos casos (Bruneau, Uang y Whittaker, 1998). Los parámetros de esta curva permiten también caracterizar de manera satisfactoria el comportamiento del material a compresión, siempre y cuando el miembro analizado no sufra inestabilidades locales o globales. En la figura siguiente se observan las características de una curva de esfuerzo-deformación típica de acero estructural:

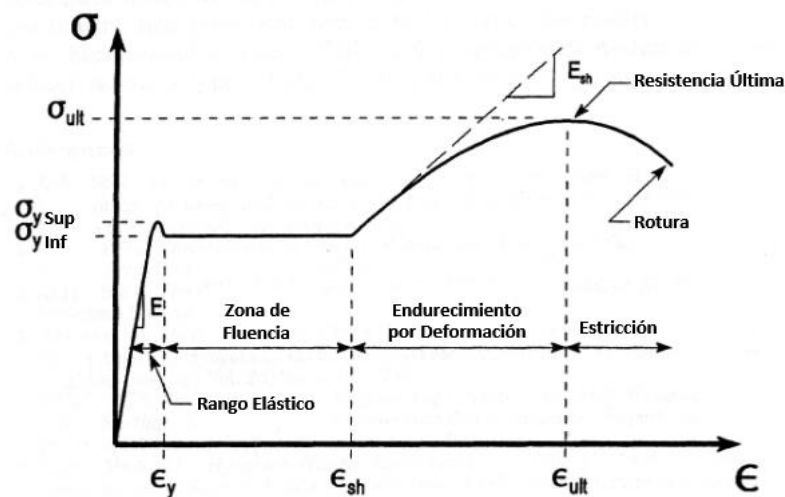


Figura 21 Curva Esfuerzo-Deformación Esquemática (Bruneau, Uang y Whittaker, 1998)

Como se indica en la figura, en el diagrama de esfuerzo-deformación existen cuatro zonas claramente definidas. Aunque ciertos tipos de acero no presentan todos estos parámetros de manera clara, el gráfico permite realizar una caracterización general del comportamiento del acero a tensión uniaxial. Las regiones previamente ilustradas son las siguientes:

1. Rango Elástico: En esta zona el acero se comporta como un material elástico, es decir, si se deja de aplicar la carga, el espécimen recuperará su longitud original (no hay deformaciones permanentes), en general el acero en este rango se considera un material linealmente elástico, por lo que además existe una proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria, denominada módulo de elasticidad, denotada como E , dentro de este rango, todo esfuerzo σ y su respectiva deformación unitaria ε guardan la siguiente relación :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

El módulo de elasticidad del acero parece ser una característica invariante del material, sin importar su resistencia o el tratamiento que se le haya dado, se considera $E = 2\,030\,000 \text{ kg/cm}^2 = 29\,000 \text{ ksi} = 200 \text{ GPa}$.

Si bien la característica lineal-elástica del material termina en el límite de proporcionalidad, denominado f_p , usualmente se considera el valor del punto de fluencia f_y (esfuerzo en el cual aparece un considerable alargamiento del material, sin un aumento aparente de carga) como límite del rango elástico, la diferencia entre ambos límites se debe principalmente a la presencia de esfuerzos residuales inherentes en la fabricación y tratamiento de las secciones de acero, y es usualmente pequeña, sin embargo, para ciertos aceros tratados térmicamente o para aceros trabajados en frío, los esfuerzos residuales pueden ser importantes, de manera que se pierde un punto claro de fluencia del material. (Zapata, 1997)

2. Zona de Fluencia: En esta zona se presenta una meseta, caracterizada por un considerable incremento de la deformación unitaria sin un aumento aparente en el esfuerzo. El comportamiento en esta zona se debe al fenómeno denominado banda de Lüders, el cual consiste en la aparición de planos localizados de plasticidad en el elemento, formando un ángulo, usualmente cercano a los 45° con respecto al eje de aplicación de la carga, los mismos que se van expandiendo en la longitud total del espécimen; una vez que el elemento se ha plastificado totalmente el material incursiona en el rango de endurecimiento por deformación.
3. Zona de Endurecimiento por Deformación: En esta zona el acero vuelve a mostrar un incremento gradual del esfuerzo aplicado a medida que se incrementa su deformación, sin embargo, este incremento se realiza de una manera más lenta. El límite de esta región es la deformación unitaria última, que corresponde a la resistencia última o resistencia a la tensión del material, la cual es la máxima resistencia aparente del acero.
4. Zona de Estricción: Es la zona de la curva esfuerzo-deformación del acero comprendida entre la resistencia última y la rotura. En esta zona se presenta un adelgazamiento rápidamente progresivo y localizado en una región del espécimen hasta la rotura del mismo en dicha región.

Cuando el material se somete a esfuerzos más allá del rango elástico y se descarga, sufre deformaciones permanentes, también llamadas deformaciones residuales, el material descargado alivia sus esfuerzos en una trayectoria paralela a la pendiente en el rango elástico. Relacionada con esta deformación permanente se obtiene la energía disipada por deformaciones plásticas, la cual se considera como el área sombreada mostrada en la Figura 22. En el caso de la curva esfuerzo-deformación, esta área representa la energía disipada por unidad de volumen o densidad de energía disipada.

La capacidad de disipación de energía en un material es una característica deseable en el diseño sismo-resistente, por lo tanto en rasgos generales se prefiere un material que pueda alcanzar grandes deformaciones en el rango inelástico, esta propiedad se conoce como ductilidad y será analizada en detalle más adelante.

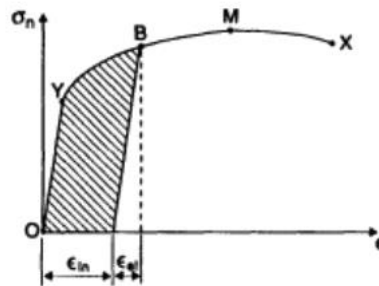


Figura 22 Deformaciones Permanentes y Energía Disipada por Unidad de Volumen (Soong y Dargush, 1997)

3.3 Tipos de Acero Según las Normas ASTM

Las características de la curva esfuerzo-deformación anteriormente descrita varían en mayor o menor medida de acuerdo a la composición química del acero, a procesos de fabricación y al tipo de tratamiento que se le haya dado posteriormente. Según Brockenbrough y Merritt (1999) los aceros estructurales fabricados según las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) pueden clasificarse en cuatro grupos:

- Aceros de Carbono: Este tipo de acero limita el máximo contenido de ciertos elementos en su composición: $Mn \leq 1.65\%$, $Si \leq 0.60\%$, $Cu \leq 0.60\%$. De acuerdo a su contenido de carbono se subdivide en:
 - Acero de Bajo Contenido de Carbono: $C < 0.15\%$.
 - Acero Dulce al Carbono: $0.15\% \leq C < 0.30\%$.
 - Acero Medio al Carbono: $0.30\% \leq C < 0.60\%$.
 - Acero de Alto Contenido de Carbono: $0.60\% \leq C < 1.70\%$.

El contenido de carbono en el acero es un parámetro importante al momento de definir sus características. En rasgos generales a mayor

contenido de carbono, el acero incrementa su resistencia, pero reduce su ductilidad y su soldabilidad, por lo que altos contenidos de carbono son indeseables en diseños sismo-resistentes cuando se requiere incursión en el rango inelástico.

- Aceros de Alta Resistencia-Baja Aleación: Este tipo de acero tiene una resistencia de fluencia entre 40 ksi (2800 kg/cm^2) y 70 ksi (4900 kg/cm^2), se denominan de baja aleación debido a que sus elementos aleantes no superan el 5% de su composición. Debido a su composición química también presentan una mayor resistencia a la corrosión atmosférica.
- Aceros Tratados Térmicamente: Este tipo de acero se obtiene a partir de tratamientos de revenido o de templado a aceros de carbono o de alta resistencia-baja aleación. Provee una resistencia de fluencia entre 50 ksi (3500 kg/cm^2) y 75 ksi (5250 kg/cm^2). No presentan un punto claro de fluencia y tienen una ductilidad menor a los dos anteriores.
- Aceros Aleados para Construcción Tratados Térmicamente: Este tipo de acero se obtiene en procesos similares al caso anterior, pero el material utilizado contiene elementos aleados en exceso. Así se logran resistencias de fluencia del orden de 100 ksi (7000 kg/cm^2).

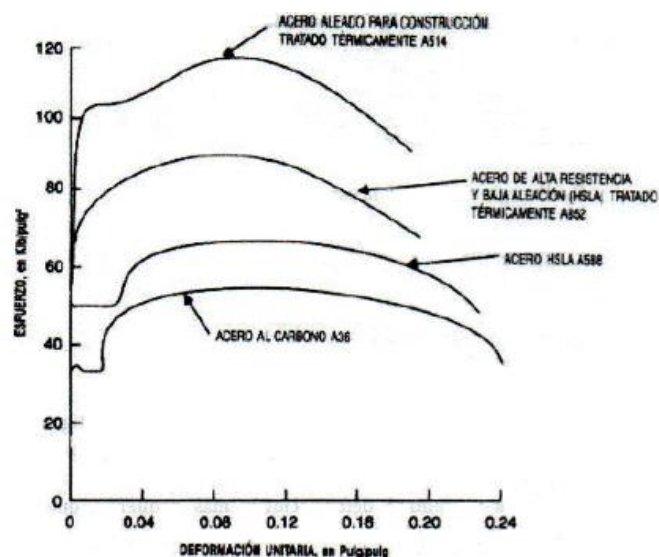


Figura 23 Curvas Típicas de Esfuerzo-Deformación para Distintos Tipos de Acero Estructural (Brockenbrough y Merritt, 1999)

3.4 Comportamiento del Acero ante Cargas Cíclicas

Si el acero se somete a procesos repetitivos de carga, descarga e inversión de esfuerzos más allá del rango elástico, este presentará un comportamiento determinado en cierto modo por su comportamiento uniaxial, por ejemplo, ante la descarga, recarga o inversión de esfuerzos del material, este seguirá una trayectoria paralela a la curva en el rango elástico, es decir, con una pendiente E , hasta que se alcance el rango inelástico de nuevo, otro aspecto interesante es que la curva monotónica representa aproximadamente una envolvente del historial de esfuerzo-deformación ante cargas no constantes, sin embargo, se presentan fenómenos adicionales que deben ser considerados. El más notorio de ellos se conoce como efecto Bauschinger, un comportamiento característico del acero ante cargas cíclicas, el cual corresponde a una pérdida de linealidad en la curva esfuerzo-deformación a un nivel de esfuerzos considerablemente menor que el esfuerzo de fluencia.

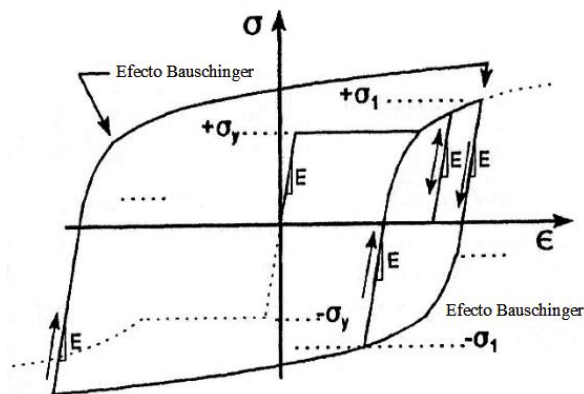


Figura 24 Comportamiento del Acero ante Cargas Cíclicas (Bruneau et al., 1998)

El concepto de disipación de energía aplica también para cargas cíclicas, en este caso la energía disipada por unidad de volumen que se obtiene por cada ciclo es el área encerrada por cada uno de ellos, la suma de estas áreas representa el total de energía disipada por unidad de volumen.

Existen diversos modelos que permiten caracterizar la respuesta de un material ante cargas cíclicas, las diferentes caracterizaciones matemáticas varían desde modelos muy simples, hasta modelos que requieren un número considerable de parámetros, la ventaja de estos últimos es que existen un mayor control para ajustar a datos experimentales, sin embargo, requieren un mayor esfuerzo computacional. Entre los modelos existentes se presentan los siguientes:

- **Modelo Rígido-Plástico Perfecto:** Este modelo considera la curva esfuerzo-deformación como un modelo bilineal en el cual la rama elástica tiene una pendiente infinita, es decir, se ignoran las deformaciones elásticas, mientras que la rama inelástica presenta una pendiente igual a cero.
- **Modelo Elasto-Plástico Perfecto:** En este modelo la curva presenta una pendiente definida en el rango elástico (igual a E) y otra pendiente en el rango inelástico, la cual es igual a cero.
- **Modelo Bilineal:** Este caso general engloba los dos modelos anteriores, en este modelo la curva de histéresis se define por dos pendientes, la pendiente en el rango elástico y la pendiente en el rango inelástico, estos dos parámetros (además del punto de fluencia) caracterizan toda la curva. Se utiliza usualmente como una simplificación para cálculos manuales donde se quiere considerar el efecto del endurecimiento pos-fluencia del material.
- **Modelo Multilineal:** Este modelo caracteriza la curva esfuerzo deformación por medio de una cantidad determinada de puntos, siendo la curva definida por líneas rectas entre dos puntos consecutivos.
- **Modelo de Özdemir:** Este modelo permite caracterizar las deformaciones unitarias en función de los esfuerzos actuantes en una única ecuación, a diferencia de los modelos anteriores que caracterizan la curva por tramos.

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + |\dot{\epsilon}| \operatorname{sgn}(\sigma - \sigma_b) \left| \frac{\sigma - \sigma_b}{\sigma_d} \right|^n \quad (3.2)$$

$$\dot{\sigma}_b = \alpha E |\dot{\epsilon}| \operatorname{sgn}(\sigma - \sigma_b) \left| \frac{\sigma - \sigma_b}{\sigma_d} \right|^n \quad (3.3)$$

La caracterización de esta curva depende de cuatro parámetros: el módulo de elasticidad E , σ_d que es una característica del material, el factor denotado como α , que permite caracterizar la pendiente en el rango inelástico y el parámetro n que permite suavizar la curva. Nótese que para obtener la respuesta del material bajo este modelo se requiere la integración en el tiempo, lo cual se puede realizar mediante métodos numéricos. (Soong y Dargush, 1997)

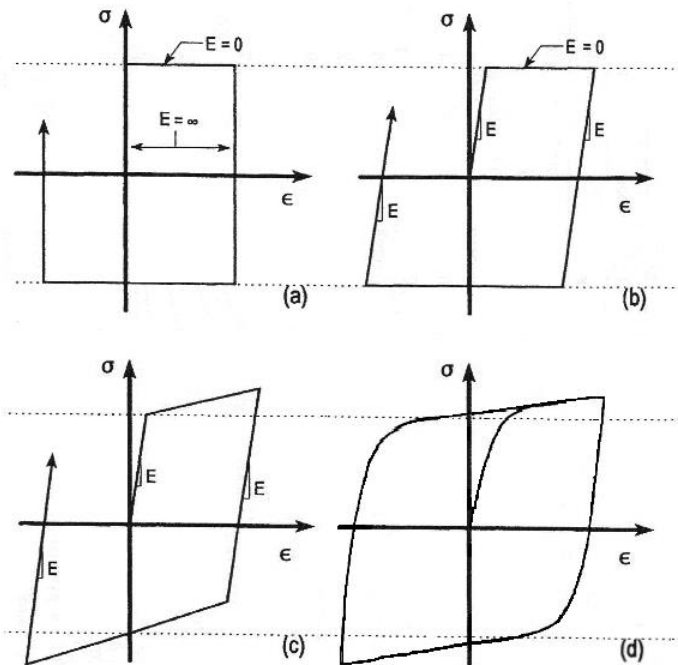


Figura 25 Modelos Constitutivos del Acero Ante Cargas Cíclicas (a) Modelo Rígido-Plástico Perfecto, (b) Modelo Elasto-Plástico Perfecto, (c) Modelo Bilineal, (d) Modelo de Özdemir.

3.5 Comportamiento Cíclico a Nivel Macroscópico

Hasta el momento se ha analizado el comportamiento del acero a nivel constitutivo, es decir, como material, sin tomar en cuenta la geometría del miembro estructural, tanto a nivel transversal como longitudinal. Sin embargo, la consideración de estas características es necesaria al momento de definir el comportamiento global del elemento analizado, ya que pueden afectar en gran medida el resultado final. Inestabilidades locales y globales, como el pandeo, pueden afectar el comportamiento histerético de un miembro y su capacidad de disipar energía aunque el mismo esté formado por un material dúctil, de igual manera, no sirve de mucho utilizar un material de gran resistencia o de características deseables si éste conformará un miembro con una sección transversal ineficiente.

Según Soong y Dargush (1997), para caracterizar el comportamiento macroscópico de un elemento estructural de manera analítica existen al menos dos metodologías, claramente distintas:

La primera metodología consiste en observar los datos obtenidos de ensayos del miembro estructural y adaptar modelos matemáticos similares a los vistos en la sección anterior para describir el comportamiento del mismo. Este proceso requiere por lo general la calibración de los parámetros que influyen en la forma de la curva obtenida, para ajustar la misma a los datos experimentales. Este tipo de análisis se denomina método empírico.

La segunda metodología consiste en utilizar las leyes constitutivas del material y los principios de la mecánica de sólidos para describir el comportamiento del elemento estructural. Para esto es necesario conocer la geometría del mismo, y podrían requerirse simplificaciones e idealizaciones para establecer un modelo adecuado.

La ventaja del primer método radica en que no se necesita una definición explícita de la geometría del miembro estructural ni de los materiales utilizados para definir el comportamiento macroscópico del elemento, sin embargo se requiere la observación de resultados

experimentales, los cuales muchas veces no se encuentran disponibles. Al contrario, el segundo método permite la caracterización del comportamiento global sin necesidad de resultados experimentales y permite observar los principios que rigen la respuesta del mismo, a pesar de esto, es importante siempre respaldar los resultados analíticos de este método con datos obtenidos en ensayos con el fin de corroborar la teoría desarrollada.

El comportamiento histerético de un miembro ante cargas reversibles se define principalmente por su curva de fuerza-desplazamiento, que consiste en observar la relación que existe entre una excitación externa aplicada y la deformación producida en el elemento, tomando como referencia el desplazamiento de un punto o plano particular. Las características de esta curva guardan cierta relación con la curva de esfuerzo-deformación ante cargas cíclicas en ciertas condiciones. La analogía más importante es que la curva fuerza-desplazamiento provee información sobre la energía disipada por el miembro estructural de igual manera que la curva esfuerzo-deformación provee información sobre la energía disipada por unidad de volumen. En este caso, el área encerrada por los ciclos de histéresis producidos representa la energía total disipada por ese elemento ante las sollicitaciones impuestas, por lo que es de gran importancia y utilidad en el diseño sismo-resistente y en el estudio de mecanismos de disipación de energía.

El método empírico de caracterización del comportamiento histerético de un elemento es útil debido a su generalidad de aplicación, por lo tanto será descrito en esta sección. Existen varios modelos desarrollados para cumplir este fin, en particular, todos los modelos presentados en el caso de la curva esfuerzo-deformación ante cargas cíclicas sirven para representar una curva fuerza-desplazamiento una vez que se establecen las analogías respectivas: en lugar de esfuerzos (σ) se representan fuerzas (P), en lugar de deformaciones unitarias (ε) se definen desplazamientos (Δ) y en lugar de módulo de elasticidad (E) se utiliza el parámetro (K_0) que representa la rigidez elástica del elemento. Luego de realizar los cambios respectivos se presenta

a manera de ejemplo el resultado de utilizar el modelo de Özdemir para definir la curva fuerza-desplazamiento:

$$\dot{P} = K_0 \dot{\Delta} - K_0 |\dot{\Delta}| \left(\frac{P - B}{P_0} \right)^n \quad (3.4)$$

$$\dot{B} = \alpha K_0 |\dot{\Delta}| \left(\frac{P - B}{P_0} \right)^n \quad (3.5)$$

Adicional a los modelos ya presentados, se incluye un modelo adicional conocido como modelo de Bouc-Wen, propuesto por Bouc y desarrollado por Wen (1976). Este modelo permite presentar los esfuerzos de manera explícita en función de los desplazamientos y tiene la siguiente forma:

$$P = \alpha K_0 u(t) + (1 - \alpha) K_0 z(t) \quad (3.6)$$

$$\dot{z}(t) = \dot{u}(t) \left[A - (\beta \operatorname{sgn}(\dot{u}(t) z(t)) + \gamma) |z(t)|^n \right] \quad (3.7)$$

Donde α es la relación entre la rigidez elástica y pos-elástica, K_0 es la rigidez elástica, $z(t)$ un parámetro de comportamiento histerético que satisface la ecuación diferencial (3.7), n , A (usualmente tomado como 1), β , y $\gamma = \pm\beta$, parámetros que ajustan la forma de la curva.

3.6 Criterios de Falla

Los disipadores histeréticos cumplen su función de disipar energía por medio de deformaciones inelásticas en el mismo, esto representa de manera implícita que el dispositivo sufrirá un daño considerable al momento de cumplir su función, por lo que probablemente tenga que ser reemplazado luego de un evento sísmico de gran magnitud. Sin embargo, una condición totalmente indeseable resultaría si el dispositivo fallara antes de cumplir su función completamente, es decir, durante el evento sísmico o en sus réplicas. Por ello es necesario analizar las características del elemento relacionadas a la falla por cargas repetitivas, esto se conoce como fatiga.

Numerosos análisis de muestras sometidas a esfuerzos reversibles o a periodos de carga y descarga han permitido caracterizar ciertos mecanismos de falla que no pueden obtenerse directamente de las curvas monotónicas del elemento, por ejemplo, se encontró que un número muy grande de deformaciones considerablemente inferiores al límite elástico pueden ocasionar y extender grietas en el elemento hasta llevarlo a la falla. Esto se conoce como fatiga de alto ciclo o controlada por tensión. Elementos estructurales como vigas de puentes sometidas al tránsito de cientos de miles de camiones durante su vida útil o estructuras marítimas sometidas a efectos de oleaje deberían ser diseñadas considerando este estado límite.

En el caso de los disipadores metálicos las deformaciones que sufrirá el elemento se encuentran más allá de su límite elástico, por lo tanto se puede intuir que el número de repeticiones que puede soportar antes de llegar a la falla es muy inferior que el caso anterior. Este tipo de mecanismo de falla se conoce como fatiga de bajo ciclo o controlada por deformaciones, ya que el número de ciclos antes de la fractura depende principalmente de la magnitud de incursión en el rango inelástico que presenta, definida principalmente por sus deformaciones. La ecuación de Coffin-Manson permite relacionar el número máximo de ciclos antes de la falla a los que se puede someter un material correspondiente a una determinada deformación unitaria plástica:

$$\frac{\Delta\varepsilon_{in}}{2} = \varepsilon'_f (2N_f)^c \quad (3.8)$$

Donde $\Delta\varepsilon_{in}/2$ es la amplitud de la deformación unitaria inelástica, N_f el número de ciclos hasta la falla, ε'_f y c son coeficientes relacionados con la ductilidad a la fatiga.

Según ensayos realizados por Aiken, Nims, Whittaker y Kelly (1993) un tipo de disipador metálico llamado ADAS puede soportar más de 100 ciclos ante una deformación con amplitud de tres veces la deformación elástica sin mostrar degradación de rigidez, y al ser sometido a deformaciones del orden de catorce veces la deformación elástica soportó 15 ciclos hasta la falla.

En la práctica, los ciclos de deformación durante un sismo no presentan una amplitud constante, si se desea combinar los efectos de deformaciones cíclicas con diferentes amplitudes, el método más sencillo a utilizar es la regla de Palmgren-Miner de acumulación lineal de daño que establece que la falla se producirá si la siguiente desigualdad se cumple:

$$\sum \frac{n_i}{(N_f)_i} \geq 1 \quad (3.9)$$

Donde n_i es el número de ciclos a una determinada amplitud y $(N_f)_i$ es el número de ciclos hasta la falla para esa misma amplitud.

3.7 Ductilidad

Según Paulay y Priestley (1992) y Bozzo y Barbat (2004) la ductilidad es la capacidad de una estructura, sus componentes o de un material de sufrir grandes deformaciones en el rango inelástico sin llegar a la falla. Esta habilidad está íntimamente relacionada con la capacidad de disipar energía mediante un comportamiento histerético, medida como el área total encerrada por ciclos histeréticos consecutivos, por lo que es uno de los conceptos fundamentales de la ingeniería sismo-resistente.

El concepto de ductilidad se puede definir a nivel constitutivo, es decir, representa la capacidad de un material de deformarse mucho más allá de su límite elástico, la cual se puede determinar mediante ensayos de materiales, como el ensayo de tracción del que se obtiene la curva esfuerzo-deformación. En este caso se denomina *ductilidad del material* y viene definida por:

$$\mu_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} \quad (3.10)$$

Donde ε es la deformación unitaria impuesta y ε_y es la deformación unitaria de fluencia.

La ductilidad puede definirse también a nivel de sección transversal en un elemento, en este caso se considera la rotación de una sección por unidad de longitud, conocida como curvatura y se la relaciona con el momento flector necesario para producir la misma. La *ductilidad seccional* o *ductilidad de curvatura* se define como:

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi}{\phi_y} \quad (3.11)$$

Donde ϕ representa la curvatura del elemento. La forma del diagrama de momento-curvatura, así como la capacidad de ductilidad del elemento, varía de acuerdo a la geometría de la sección transversal y las condiciones de carga a la que está sometida (interacción entre momento flector, fuerza axial o fuerza cortante).

Finalmente se puede definir la ductilidad a nivel macroscópico como la ductilidad global de una estructura o la ductilidad de un miembro estructural en particular (viga, columna, etc.) considerando su geometría tanto transversal como longitudinal. Este es el concepto más comúnmente usado de ductilidad y muchas veces en el diseño sismo-resistente se refiere simplemente como ductilidad sin especificar nada más. La relación fuerza-desplazamiento permite definir la *ductilidad de desplazamiento*:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta}{\Delta_y} \quad (3.12)$$

Donde Δ representa el desplazamiento de un punto o plano específico producido por una excitación externa y Δ_y el desplazamiento de fluencia.

Se diferencian los conceptos de demanda de ductilidad y capacidad de ductilidad. El primero se refiere a la relación entre el desplazamiento, deformación o rotación impuesto por una sollicitación particular y su respectivo valor de fluencia, por ejemplo la demanda de ductilidad ante un sismo, mientras que la capacidad de ductilidad es la relación entre la variable considerada a nivel de falla y su respectivo valor de fluencia.

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

4.1 Introducción

Durante el siglo pasado la ingeniería sísmica y el diseño de estructuras experimentaron gigantescos avances. Desde el desarrollo de instrumentos de medición de aceleraciones sísmicas, los que permitieron estudiar y entender de mejor manera la naturaleza de los sismos, hasta el desarrollo de filosofías de diseño sismo-resistente que se encuentran en constante desarrollo e innovación. El principal objetivo del diseño de estructuras es cumplir con la siguiente condición, según Kelly (2001):

$$\text{CAPACIDAD} > \text{DEMANDA}$$

La base del diseño sismo-resistente convencional consiste en dotar a la estructura principal de materiales con grados de resistencia y ductilidad adecuados y un detallamiento de cada uno de sus componentes que permita una disipación de energía por medios inelásticos de forma satisfactoria, estable y segura, es decir, sin poner en riesgo las vidas humanas, y en cierta medida evitar pérdidas económicas excesivas. Considerando la condición principal del diseño de estructuras, esto implica aumentar el nivel de capacidad del sistema a fin de que sea mayor a la demanda de las sollicitaciones externas.

Los sistemas de protección sísmica por el contrario, tienen como principal objetivo reducir la demanda de las sollicitaciones externas en el sistema estructural principal. Esto puede lograrse de diversas maneras, por ejemplo, reduciendo la cantidad de energía que ingresa al sistema estructural (sistemas de aislamiento de base), modificando las propiedades dinámicas de la estructura como amortiguamiento, rigidez, distribución modal, etc., concentrando gran parte de la acción inelástica en dispositivos que no afecten la integridad del sistema principal (disipadores histeréticos) o inyectando

energía al sistema de manera que contrarreste parcial o totalmente la energía de la excitación externa (mecanismos de control activo).

Según Soong y Spencer (2002) y Soong y Dargush (1997) los sistemas de protección sísmica pueden clasificarse de acuerdo a la siguiente tabla:

Sistemas de Aislamiento de Base	Disipadores Pasivos de Energía	Sistemas de Control Activos y Semi-Activos
Aisladores Elastoméricos	Disipadores Metálicos	Sistema de Arriostramiento Activo
Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo	Disipadores de Fricción	Sistema de Masa Activa (AMD)
Aisladores de Péndulo Friccionante	Disipadores Viscoelásticos	Sistemas de Rigidez o Amortiguamiento Variables
	Disipadores de Fluido Viscoso	Materiales Inteligentes
	Sistemas de Masa Sintonizada o Fluido Sintonizado (TMD) o (TLD)	

Tabla 2 Clasificación de los Sistemas de Protección Sísmica (Soong y Spencer, 2002)

De acuerdo a los principios de la dinámica estructural, en cuanto al balance energético discutido en la sección 2.8, las características dinámicas de los disipadores pasivos de energía pueden incorporarse a la ecuación (2.26) para considerar el aporte de los mismos en la respuesta del sistema:

$$E_K + E_D + E_S + E_Y + E_{DE} = E_I \quad (4.1)$$

$$E_{DE} = \int \Gamma u \, du \quad (4.2)$$

Donde E_{DE} representa la fracción de energía disipada por el dispositivo considerado y Γu es un operador integrodiferencial que engloba las características dinámicas del disipador de energía.

A continuación se expondrán brevemente las propiedades de cada uno de estos dispositivos indicando sus mecanismos de acción y posibles ventajas y desventajas.

4.2 Sistemas de Control Activo y Semi-Activo

Los sistemas de control activo y semi-activo son producto de un gran avance tecnológico. Estos sistemas basan su funcionamiento en la instrumentación de la estructura considerada, lo cual permite observar, medir y procesar en tiempo real datos sobre la respuesta producida en el sistema ante variaciones en su entorno. Durante un evento de características determinadas (fuertes vientos o un sismo) medidas por los sensores, el sistema responde con mecanismos destinados a contrarrestar el efecto del evento sobre la estructura, ya sea por inyección de energía de fuentes externas u otro tipo de mecanismo. Todo el proceso es computarizado y la respuesta del sistema de control se define en tiempo real, siendo muy conveniente ante solicitaciones rápidamente cambiantes y no predecibles como los sismos. Estos sistemas dependen en gran medida de una fuente de energía externa, tanto en el mantenimiento de la instrumentación para medición y control como en el momento de la respuesta ante una solicitación externa. El siguiente diagrama muestra los componentes de un sistema de control activo y su mecanismo de acción:



Figura 26 Esquema de Funcionamiento de un Sistema de Control Activo (Villarreal y Castro, 2009)

4.3 Sistema de Aislamiento de Base

De acuerdo Kircher (2006) los sistemas de aislamiento sísmico basan su funcionamiento en separar la estructura principal de los movimientos del suelo producidos por sismos a través de elementos flexibles en la dirección horizontal, pero rígidos en la dirección vertical, en fin de poder sostener la estructura aún con la presencia de desplazamientos horizontales considerables. Estos elementos son ubicados en un plano determinado, usualmente entre la cimentación y la superestructura, aunque existen casos donde se han colocado en pisos superiores.

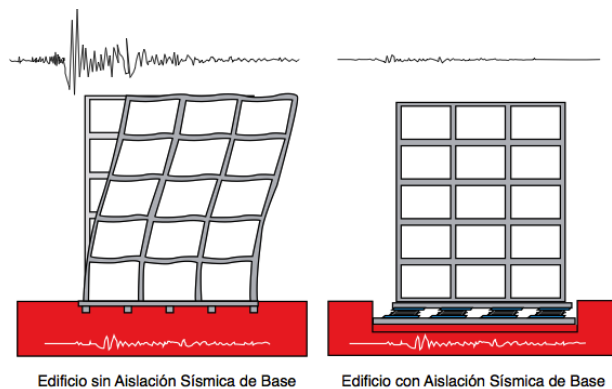


Figura 27 Comparación de la Respuesta entre una Estructura sin Aislación Sísmica de Base y una en la que se ha Incorporado este Sistema. (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

El sistema de aislamiento de base actúa alargando el periodo fundamental de vibración de la estructura y proporcionando un grado mayor de amortiguamiento, lo primero se traduce en una reducción de las aceleraciones producidas en el sistema estructural, sin embargo, esto viene acompañado por un incremento en su desplazamiento, el cual se encuentra mayormente concentrado en el plano de ubicación del aislamiento.

Un análisis sobre los efectos del aislamiento de base en una estructura permite concluir que su uso es más eficiente en sistemas con un periodo de vibración corto, es decir, edificaciones de altura relativamente baja, tampoco

es recomendable usarlo sobre suelos blandos, debido a que pueden existir aceleraciones relativamente grandes aún en periodos largos de vibración.

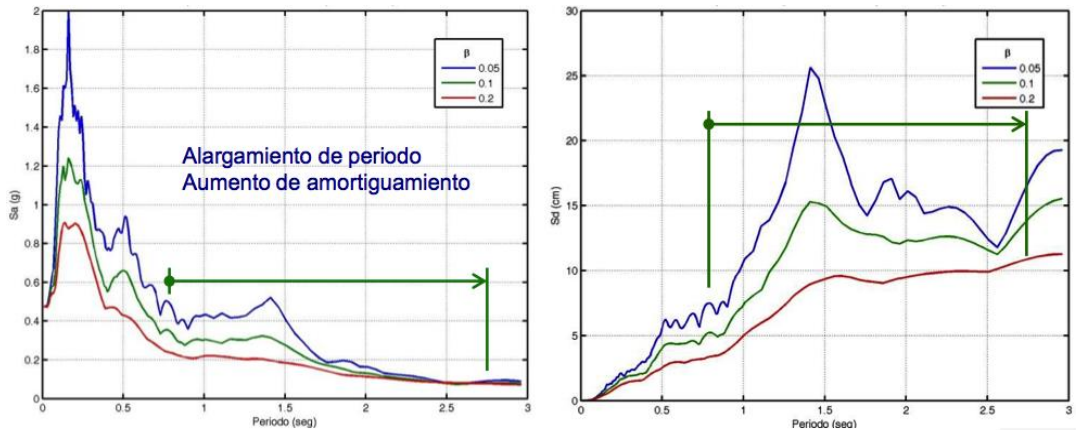


Figura 28 Efecto de la Incorporación de un Sistema de Aislamiento de Base en la Estructura (Retamales, 2012)

Existen diversos tipos de sistemas de aislamiento sísmico, un documento preparado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico y la Cámara Chilena de la Construcción (2011) presenta una breve explicación de cada uno de ellos. Se dividen principalmente en dos tipos: elastoméricos (con o sin núcleo de plomo) conformados por capas de elastómeros intercaladas con capas de acero, y friccionales deslizantes que consisten en una superficie de deslizamiento, generalmente de acero, sobre la cual se asienta una superficie recubierta de teflón (PTFE) sobre la cual se soporta la estructura.

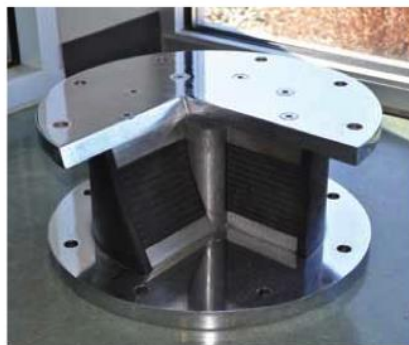


Figura 29 Aislador de Base Elastomérico con Núcleo de Plomo (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

4.4 Sistemas de Masa Sintonizada (TMD) o Líquido Sintonizado (TLD)

También llamados Sistemas de Osciladores Resonantes. Según Chopra (2012) en su forma más simple, estos dispositivos se componen de un sistema de masa-resorte colocado generalmente en la parte superior de una estructura. La rigidez y la masa del dispositivo deben ser elegidas de manera que el dispositivo esté “sintonizado” con la frecuencia natural de vibración del sistema principal. Ante la acción de una excitación externa en un rango de vibración cercano al nivel sintonizado, el sistema actúa generando fuerzas contrarias a la excitación, reduciendo las deformaciones en la estructura. La selección de la masa del amortiguador afecta el rango operativo del mismo, por lo que para que sea funcional debe tener una masa considerable en relación a la masa del sistema. Se utiliza principalmente para reducir el efecto de las vibraciones en maquinarias, y en edificaciones para disminuir las vibraciones producidas por el viento, sin embargo, también se ha utilizado para mejorar el comportamiento sísmico de una estructura.



Figura 30 Sistema de Masa Sintonizada (TMD) en la Parte Superior de una Edificación (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

4.5 Disipadores Metálicos

De acuerdo a Aiken (1996), los disipadores metálicos basan sus principios de disipación de energía en el comportamiento histerético de los metales al ser deformados más allá de su límite elástico. Este comportamiento se puede lograr mediante la extrusión del material, en cuyo caso se conocen como disipadores por extrusión de metales, siendo constituidos por lo general

de plomo, o por esfuerzos estructurales que produzcan la fluencia del material constituyente por mecanismos de flexión, corte, torsión, axial, entre otros, en cuyo caso se utiliza generalmente el acero estructural. Las características que se buscan en estos tipos de disipadores son un comportamiento histerético estable, poca variabilidad de sus características en el tiempo y resistencia a factores ambientales y variaciones de temperatura dentro de los rangos de operación.

Los disipadores por extrusión de metales utilizan mayormente el plomo como material constituyente, el mismo que se demostró como mecanismo viable de disipación de energía en la década de 1970. Sus características histeréticas consisten en lazos prácticamente rectangulares largamente estables, aún luego de muchos ciclos de repetición. Como material, el plomo resulta insensible a factores ambientales y no presenta efectos de envejecimiento considerables. (Robinson y Cousins, 1987)

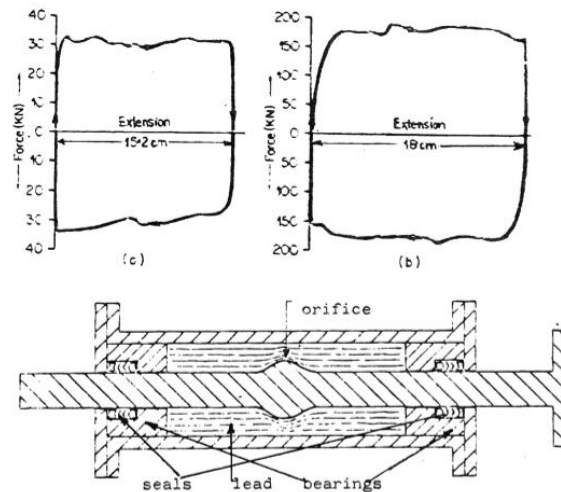


Figura 31 Dispositivo de Extrusión de Plomo (Key, 1983)

Los disipadores metálicos que logran su fluencia por esfuerzos estructurales se constituyen principalmente de acero. En la actualidad existe una amplia gama de dispositivos diseñados para este fin, en cuanto a mecanismos de fluencia, tamaños, configuraciones geométricas, entre otros. Algunos de estos dispositivos serán analizados en detalle en el siguiente

capítulo. La principal desventaja del uso de este tipo de disipadores radica en que el principio de disipación de energía de los dispositivos implica daño en los mismos ante un sismo severo, por lo que es probable que luego de un evento extremo tengan que ser reemplazados.

4.6 Disipadores de Fricción

Los disipadores de fricción basan sus principios de disipación de energía en el rozamiento entre dos superficies bajo presión, transformando gran parte de la energía impuesta en calor. La histéresis producida por este tipo de mecanismo es inherentemente rectangular y estable inclusive luego de varios ciclos. Según Chopra (2012) estos dispositivos incrementan la capacidad de disipar energía de una estructura sin cambiar considerablemente sus características dinámicas, produciendo variaciones del orden del 10 al 20% en su periodo natural de vibración, lo cual no se considera significativo. Se han desarrollado diversos dispositivos que actúan bajo este principio con complejidad mecánica y materiales utilizados, ambos muy variables. Un inconveniente en el uso de estos dispositivos es que no se puede garantizar que el coeficiente de fricción sea el adecuado al momento de un sismo y requieren mantenimiento, protección ante un posible deterioro de su superficie y revisión constante.

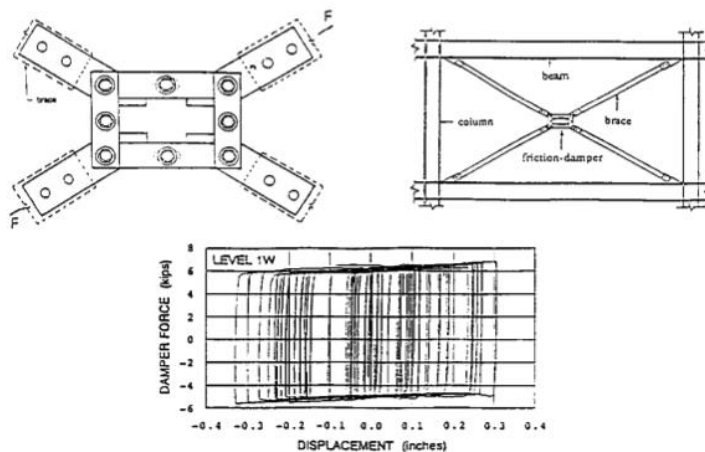


Figura 32 Dispositivo de Disipación de Energía por Fricción (Aiken, 1996)

4.7 Disipadores Viscoelásticos

Los disipadores viscoelásticos están conformados por copolímeros que disipan energía cuando se someten a deformaciones por corte. La configuración más común para este tipo de dispositivos consiste en placas de acero unidas por capas de material viscoelástico, por lo que la disipación se produce debido a los esfuerzos producidos por el desplazamiento relativo entre las placas de acero. La histéresis producida por este mecanismo es de tipo elíptico. Según Villarreal y Castro (2009) estos materiales son sensibles a los cambios de temperatura, frecuencia y deformación, por lo que en su aplicación se debe tender a minimizar el efecto de estos parámetros. La utilización de este tipo de disipadores en sistemas estructurales data de los finales de 1960, siendo una de sus aplicaciones más representativas la instalación de 10 000 de estos dispositivos en las torres gemelas del World Trade Center en Nueva York en 1969 para control de vibraciones inducidas por el viento. En sus inicios este mecanismo se utilizó únicamente para controlar vibraciones inducidas por el viento, su aplicación en la protección sísmica de estructuras fue muy posterior.

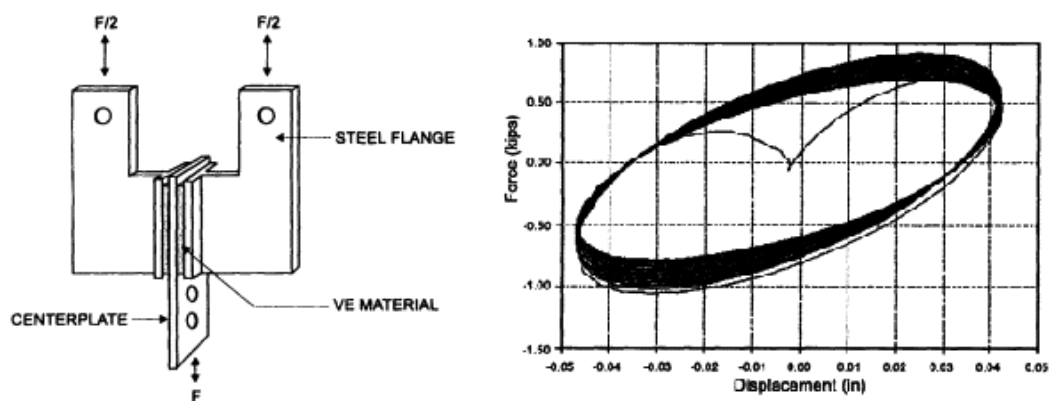


Figura 33 Disipador Viscoelástico (Soong y Dargush, 1997)

4.8 Disipadores de Fluido Viscoso

Los dispositivos de fluido viscoso basan su principio de disipación de energía en el comportamiento de fluidos con propiedades de viscosidad elevadas. En su configuración más usual, su funcionamiento consiste en forzar el fluido contenido en un pistón a través de orificios diseñados para controlar el paso del fluido y disipar energía. Este principio es similar a la tecnología utilizada en los amortiguadores de un automóvil.

Otro tipo de configuración para este principio de disipación son los muros viscosos que consisten en una placa que se mueve en el interior de un contenedor con forma de muro lleno de un fluido viscoso. (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011)

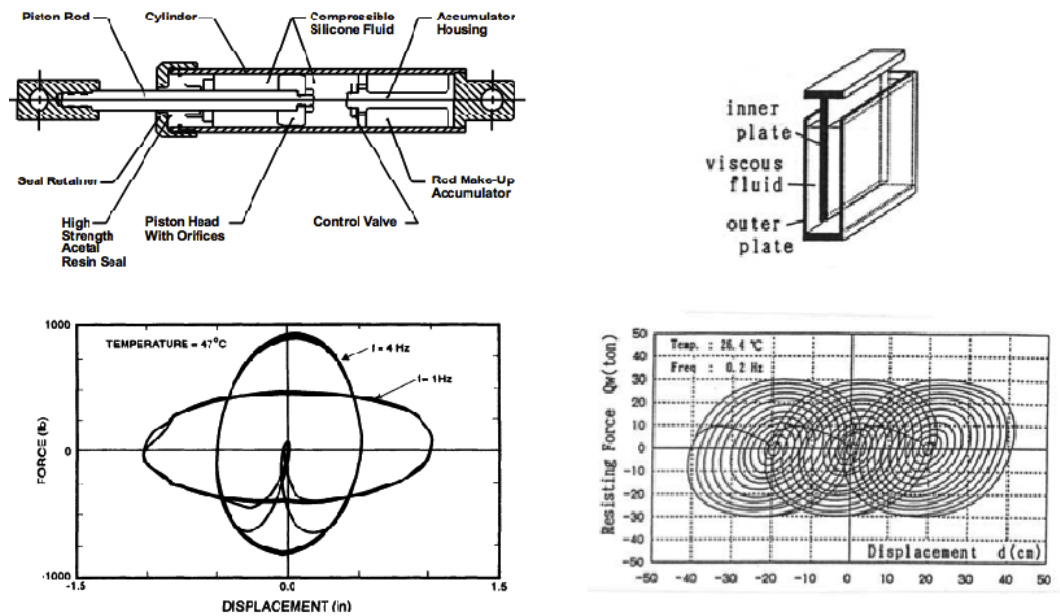


Figura 34 Disipadores Viscosos (Constantinou, 1993)

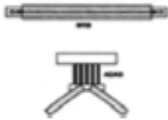
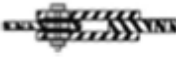


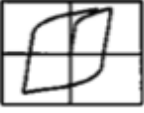
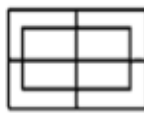
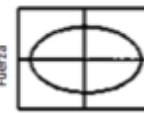

TIPOS DE DISIPADORES PASIVOS DE ENERGÍA				
	METÁLICOS	FRICCIONANTES	DE FLUIDOS VISCOSOS	VISCOELÁSTICOS
Modelo Básico				
Comportamiento histerético idealizado	 Fuerza Desplazamiento	 Fuerza Desplazamiento	 Fuerza Desplazamiento	 Fuerza Desplazamiento
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Insensibles a la temperatura ambiente. - Confiables a largo plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Energía disipada por ciclo es elevada. - Insensibles a la temperatura ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se activan a desplazamientos pequeños. - Mínima fuerza de restauración necesaria - Propiedades independientes generalmente de la frecuencia y temperatura ambiente. - Modelamiento del dissipador es simplificado, si se considera amortiguamiento lineal 	<ul style="list-style-type: none"> - Se activan a desplazamientos pequeños. - Proporciona fuerzas de restauración. - Comportamiento lineal, que lleva a un modelamiento simplificado del dissipador
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Daños en los dispositivos luego de un sismo. Pueden necesitar reemplazo. - Comportamiento no lineal, requiere análisis no lineal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente de fricción puede cambiar con el tiempo. - Comportamiento no lineal, requiere análisis no lineal. - Deformaciones permanentes si no se proporciona mecanismos de fuerza de restauración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posible fugas de líquido viscoso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de deformación limitada. - Propiedades dependientes de la frecuencia y temperatura ambiente. - Posible desprendimiento del material VE (problema de confiabilidad).

Tabla 3 Comparación entre Disipadores Pasivos de Energía (Symans, 2008)

CAPÍTULO 5 DISIPADORES HISTERÉTICOS DE FLUENCIA

5.1 Introducción

Los disipadores histeréticos de energía basan su principio de disipación en el comportamiento del material más allá de su límite elástico. En esta sección se consideran únicamente los sistemas que logran la fluencia del metal por medio de esfuerzos estructurales producidos por mecanismos de flexión, cortante, torsión o fuerza axial. El material constituyente de estos dispositivos es generalmente el acero estructural, debido a su bajo costo y a sus propiedades beneficiosas para el propósito que se requiere. Entre estas propiedades se encuentran una alta ductilidad, lo que permite la supervivencia del material luego de muchos ciclos de deformaciones y una gran capacidad de disipación de energía, una variabilidad baja de sus características en el tiempo, lo que implica que sea un mecanismo confiable y que requiera poco mantenimiento y una alta resistencia a factores ambientales y variaciones de temperatura dentro de los rangos de operación usuales. Se debe realizar una cuidadosa selección del tipo de acero estructural para constituir el dispositivo, el mismo debe cumplir con las características mencionadas anteriormente, se considera que las propiedades de un acero dulce al carbono se ajustan muy bien a las características deseadas. En general las configuraciones geométricas de los dispositivos buscan garantizar un comportamiento histerético estable ante numerosos ciclos y deformaciones considerables.

Un aspecto particularmente atractivo de los disipadores metálicos es su relativa economía, ya que los mismos pueden ser fabricados a partir de planchas de acero dulce al carbono convencional, y además se pueden llegar a diseñar dispositivos en una variedad de formas y configuraciones, siempre y cuando su aplicabilidad esté respaldada por ensayos de los mismos.

Las primeras investigaciones presentadas sobre la aplicación y desarrollo de este tipo de disipadores datan de la década de 1970 en Nueva Zelanda. Los investigadores Kelly, Skinner y Heine en 1972 presentan los resultados de ensayos de laboratorio de tres tipos de disipadores histeréticos de fluencia por diferentes mecanismos, el primero representa un mecanismo de flexión por rolado de elementos con forma de U, el segundo representa un disipador torsional y el tercero un disipador por flexión pura. En el documento se presenta una base teórica sobre el comportamiento de los mismos y se evalúa su posible aplicación en estructuras reales con el objetivo de separar la función de resistir cargas laterales del sistema principal, cuyo objetivo primordial es resistir las cargas gravitacionales, mediante la incorporación de dispositivos disipadores de energía.

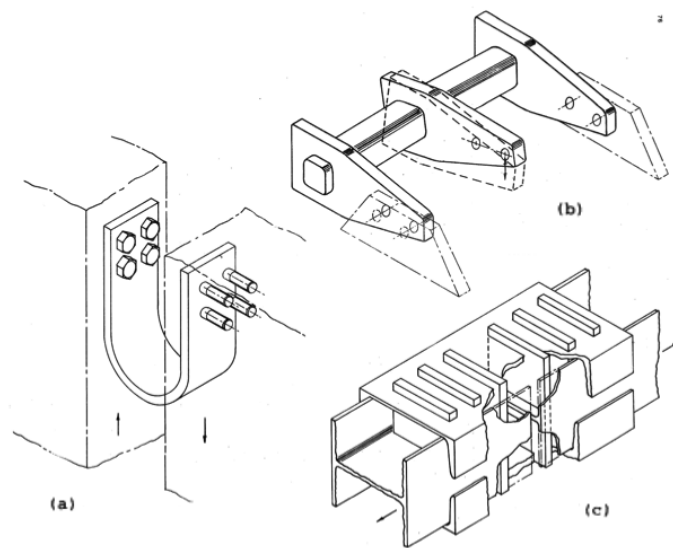


Figura 35 Dispositivos Ensayados por Kelly et al. (1972) (a) Disipador por Rolado de U, (b) Disipador Torsional, (c) Disipador por Flexión Pura. (Kelly, Skinner & Heine, 1972)

A partir de este trabajo inicial, numerosos dispositivos han sido desarrollados y ensayados por investigadores alrededor del mundo. La aplicación de estos dispositivos en estructuras reales se inició pocos años después en países como Japón y Nueva Zelanda, posteriormente se han utilizado en Estados Unidos, México, Chile, Italia, entre otros (Soong y

Dargush, 1997). En este capítulo se describirán brevemente algunos de los dispositivos metálicos más representativos, los cuales son:

- Arriostramientos de Pandeo Restringido (BRB)
- Dispositivos ADAS (Added Damping and Stiffness)
- Dispositivos TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness)
- Dispositivos de tipo Panal (Honeycomb)
- Dispositivos SL (Shear Link)
- Dispositivos de Rolado de Elementos en Forma de U

5.2 Arriostramientos de Pandeo Restringido (BRB)

Los sistemas de arriostramiento con barras de pandeo restringido tienen su origen en Japón, con estudios y ensayos realizados por Wakabayashi et al. (1973), quienes utilizaron un sistema de paneles de hormigón presforzado para evitar el pandeo de los arriostramientos colocados. Posteriormente Fujimoto et al. (1988) desarrollaron un sistema de arriostramiento compuesto de un núcleo de acero colocado en el interior de un perfil hueco de acero relleno de mortero, de manera similar a los sistemas aplicados en la actualidad. (Uang, Nakashima y Tsai, 2004)

El propósito principal de este sistema es aprovechar completamente el comportamiento del acero estructural ante esfuerzos axiales, esto se logra evitando las inestabilidades locales y globales en el miembro por el efecto del pandeo a compresión, restringiendo este modo de falla con el material colocado a su alrededor.

La norma ANSI/AISC 341-10 incorpora este sistema estructural dentro de sus estatutos dando pautas de diseño y requerimientos mínimos de todos los elementos que componen el sistema, incluyendo el núcleo de acero, conexiones, entre otros. De acuerdo a esta norma en su sección F4.2 se indica que estos sistemas se diseñan para proveer una fuente significativa de

capacidad de deformarse inelásticamente mediante la fluencia de los arriostramientos a tensión y a compresión.

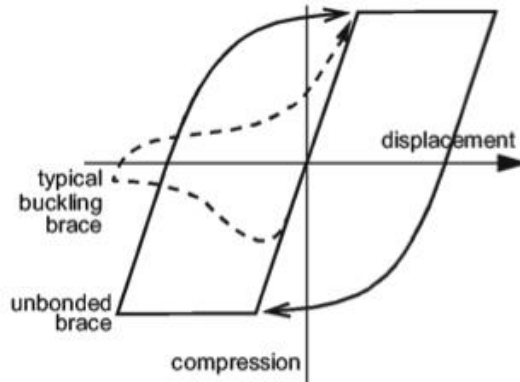


Figura 36 Comportamiento Histerético de un Miembro Sometido a Carga Axial, Sistema Convencional (Líneas Punteadas), Barras de Pandeo Restringido (Líneas Continuas) (Clark et al. 1999)

De acuerdo a esta norma la resistencia de los arriostramientos es la siguiente, siendo T su resistencia a tensión y C su resistencia a compresión:

$$C = \beta \omega R_y P_{y_{sc}} \quad (5.1)$$

$$T = \omega R_y P_{y_{sc}} \quad (5.2)$$

$$P_{y_{sc}} = F_{y_{sc}} A_{sc} \quad (5.3)$$

Donde $F_{y_{sc}}$ es el esfuerzo de fluencia del núcleo de acero, A_{sc} el área de la sección transversal del núcleo de acero, ω el factor de endurecimiento por deformación, β la relación entre la carga axial máxima a compresión y la carga axial máxima a tensión obtenida a partir de ensayos de los miembros y R_y el factor de sobrerresistencia del material.

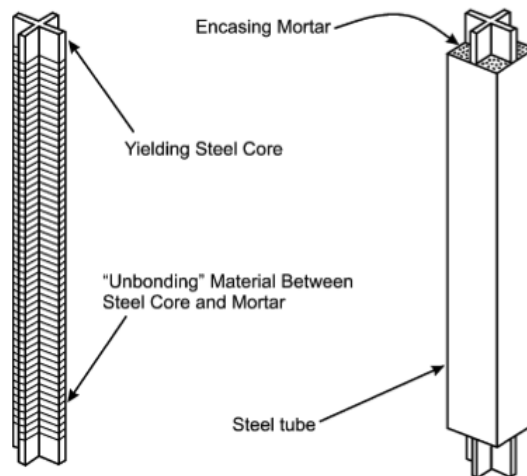


Figura 37 Sistema Típico de Barras de Pandeo Restringido (Clark et al. 1999)

En la Figura 37 se aprecia un sistema típico de barras de pandeo restringido, se explicarán brevemente sus componentes:

- Núcleo de Acero: Consiste en la sección de acero confinada por mortero, la cual proporciona la principal fuente de deformaciones inelásticas del elemento.
- Tubo de Acero Relleno de Mortero: Proporciona el mecanismo de restricción de pandeo del núcleo, la cual rodea al mismo, consiste en una sección hueca de acero, circular o rectangular, rellena de mortero.
- Capas de Recubrimiento del Núcleo: Proporcionan protección para evitar la adherencia entre el mortero y el núcleo a fin de evitar la transferencia de esfuerzos entre ambas superficies. Estas capas generalmente consiste en una superficie de teflón (PTFE), un material lubricante y una capa de neopreno para permitir la expansión lateral del núcleo de acero a compresión.
- Segmentos de Acero No-Restringido: Estas secciones se encuentran en los extremos del miembro cercanas a las conexiones con los otros miembros estructurales. Estos segmentos deben ser diseñados de manera que se mantengan en el rango elástico durante un evento sísmico, por lo que usualmente tienen una mayor sección transversal.



Figura 38 Arriostramientos de Pandeo Restringido Instalados en el Centro Médico Santa Clara, Santa Clara, California (Symans, 2008)

5.3 Dispositivos ADAS (Added Damping and Stiffness)

Los dispositivos ADAS (Added Damping and Stiffness) consisten en un número definido de placas de acero dulce al carbono en forma de X colocadas en paralelo, generalmente en la conexión entre arriostramientos de tipo Chevron y la parte inferior de una viga de piso. Las conexiones de estos dispositivos deben garantizar una condición empotrada en ambos extremos para producir deformaciones en doble curvatura en el mismo.

La forma particular de estos dispositivos permite una plastificación uniforme a lo largo de toda su longitud bajo las condiciones de restricción de sus extremos, optimizando así las propiedades de disipación de energía de todo el material utilizado y logrando una histéresis estable a lo largo de varios ciclos en el rango inelástico. Contrastando este principio, si una placa rectangular se somete a deformaciones en doble curvatura, la fluencia se producirá únicamente en sus extremos, este tipo de concentración de deformaciones plásticas limita la capacidad de disipación de energía del miembro y reduce la estabilidad de los ciclos histeréticos. (Aiken et al. 1993)

Según Bozzo y Barbat (2004), estos dispositivos fueron utilizados inicialmente para soportes de sistemas de tuberías. Investigaciones sobre la implementación en sistemas estructurales se inician en 1984 por Steimer, y el

sistema con medidas estandarizadas más utilizado actualmente fue desarrollado por Scholl.

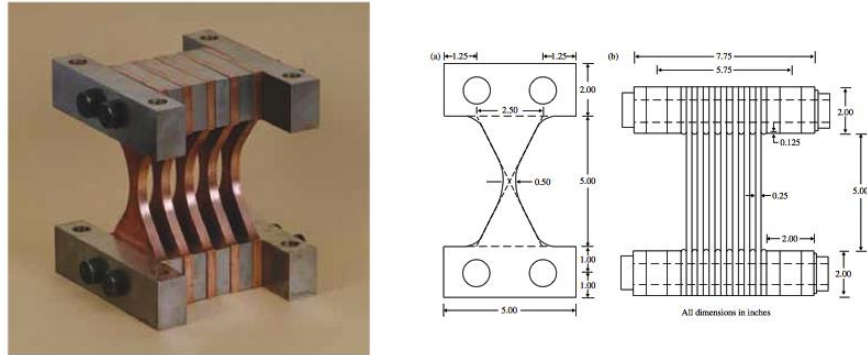


Figura 39 Dispositivo ADAS (Aiken et al., 1993)

Bruneau et al. (1998) proporciona un análisis de las características mecánicas de estos dispositivos a partir de las propiedades del material constituyente y de las características geométricas del disipador. Debido a que las placas se encuentran dispuestas en paralelo, las propiedades del sistema de disipación completo pueden obtenerse fácilmente a partir del análisis de una sola placa. Esto permite además poder calibrar el nivel de respuesta del sistema de disipadores mediante el aumento o reducción del número de placas utilizadas. Los parámetros calculados por estos autores son la rigidez elástica (K_e), la fuerza de fluencia (P_y), el desplazamiento de fluencia (Δ_y), la rotación global de fluencia (γ_y) y la fuerza plástica del elemento (P_p), estos parámetros son suficientes para evaluar la respuesta histerética a partir de los modelos matemáticos presentados anteriormente:

$$K_e = \frac{2NEb}{3} \left(\frac{t}{h} \right)^3 \quad (5.4)$$

$$P_y = \frac{f_y b t^2 N}{3h} \quad ; \quad P_p = \frac{f_y b t^2 N}{2h} \quad (5.5)$$

$$\Delta_y = \frac{f_y h^2}{2Et} \quad ; \quad \gamma_y = \frac{f_y h}{2Et} \quad (5.6)$$

Donde b es el ancho de la placa en la base, h su altura, t su espesor, f_y el esfuerzo de fluencia del acero y E su módulo de elasticidad.

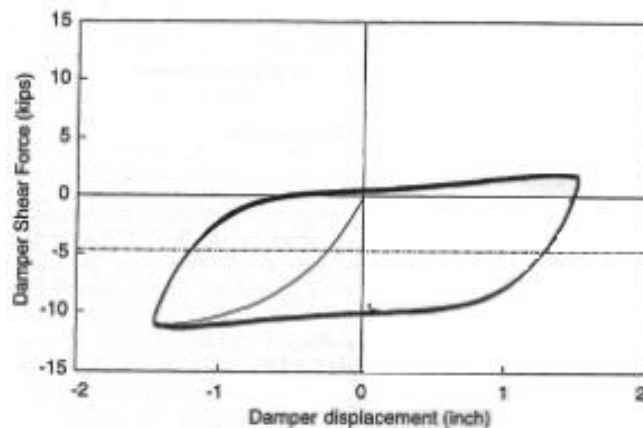
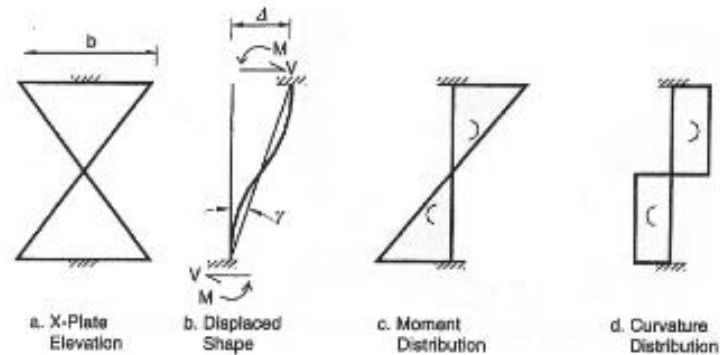


Figura 40 Análisis de un Dispositivo ADAS (Bruneau et al., 1998)

5.4 Dispositivos TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness)

Los dispositivos TADAS basan sus principios de disipación de energía en los mismos mecanismos que los dispositivos ADAS. Estos consisten en placas de forma triangular colocadas en paralelo, generalmente en la misma disposición espacial que los dispositivos ADAS. La diferencia radica en el hecho que estos dispositivos no se encuentran empotrados en ambos extremos; en este caso el disipador se encuentra empotrado en su conexión con la viga (ancho mayor de la placa) y articulado en su conexión con el arriostamiento tipo Chevron (vértice del triángulo o ancho menor de la placa),

por lo que las deformaciones se producen en curvatura simple en este caso y su forma se justifica bajo los mismos conceptos de optimización y plastificación uniforme en toda su longitud. Este tipo de dispositivos fue ampliamente descrito por Tsai et al. (1993).

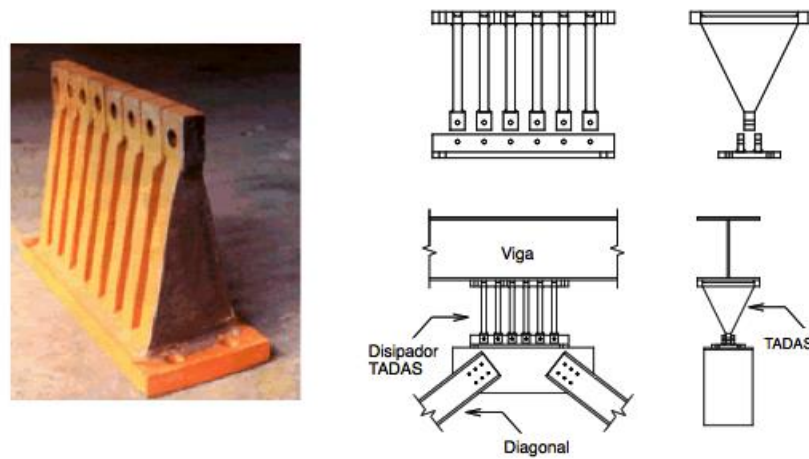


Figura 41 Dispositivo TADAS (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

Tsai et al. (1993) desarrollan un análisis similar de las características mecánicas de estos dispositivos donde se obtienen los mismos parámetros que se obtuvieron para el dispositivo ADAS. La notación a usar es la misma utilizada para el caso anterior:

$$K_e = \frac{NEb}{6} \left(\frac{t}{h} \right)^3 \quad (5.7)$$

$$P_y = \frac{f_y b t^2 N}{6h} \quad ; \quad P_p = \frac{f_y b t^2 N}{4h} \quad (5.8)$$

$$\Delta_y = \frac{f_y h^2}{Et} \quad ; \quad \gamma_y = \frac{f_y h}{Et} \quad (5.9)$$

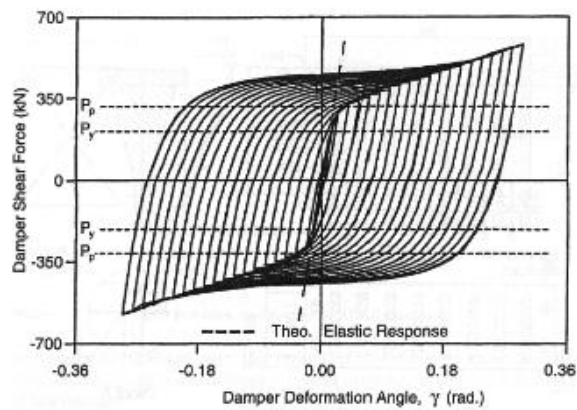
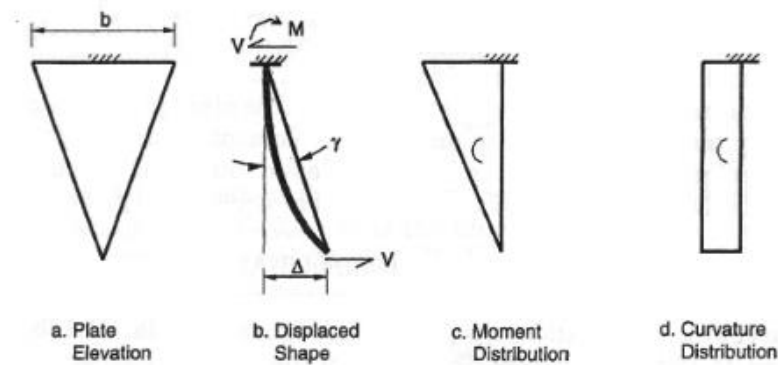


Figura 42 Análisis de un Dispositivo TADAS (Bruneau et al., 1998)

5.5 Dispositivos de tipo Panal (Honeycomb)

Los dispositivos tipo Panal (Honeycomb) han sido desarrollados por Kajima Corporation (1991), y utilizados principalmente en Japón, de donde proviene esta compañía. El dispositivo consiste en una placa de acero con agujeros en su parte central, formando una configuración tipo rejilla, dividiendo el mismo en tres zonas claramente definidas, los dos extremos son rígidos, mientras que la zona central es la encargada de disipar energía. En esta zona la sección se plastifica de manera bastante uniforme otorgando una respuesta histerética estable. El principio de disipación de energía de este dispositivo es el mismo que en el caso de los dispositivos ADAS y TADAS, pero en este caso la placa se coloca en dirección paralela a la acción de la excitación lateral.

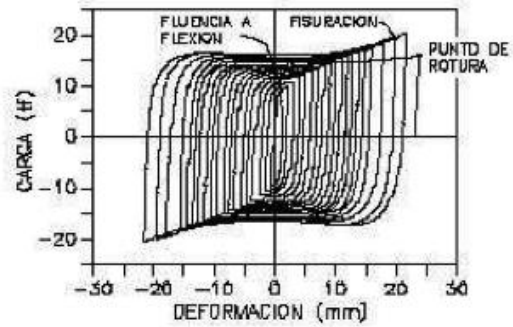
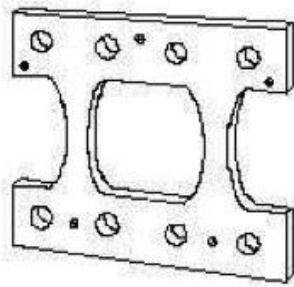


Figura 43 Dispositivo tipo Panal (Honeycomb) (Villarreal y Castro, 2009)

5.6 Dispositivos SL (Shear Link)

Los dispositivos SL (Shear Link), fueron desarrollados por Cahís y Bozzo (1998), tienen una configuración geométrica similar a un perfil tipo I con rigidizadores horizontales. Las dimensiones del disipador pueden modificarse de acuerdo a los requerimientos de disipación de energía. Este dispositivo difiere de los anteriores en que su principal mecanismo de disipación se produce por cortante, produciendo una respuesta histerética estable mientras que los rigidizadores previenen inestabilidades locales.

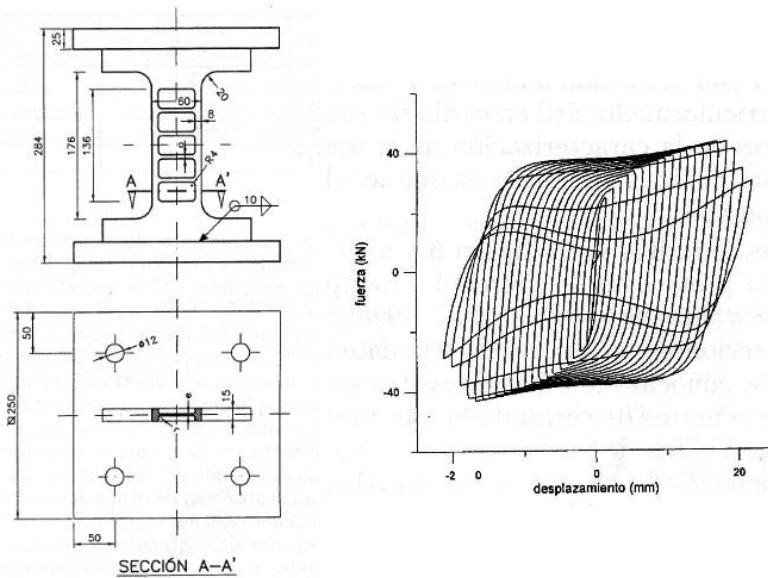


Figura 44 Dispositivo SL (Shear Link) (Bozzo y Barbat, 2004)

Según Bozzo y Barbat (2004) este dispositivo presenta un doble mecanismo de falla. En principio el disipador presenta un mecanismo de cortante caracterizado por una deformación lineal y una distribución uniforme de fluencia en todo el elemento, luego el mecanismo llega a su nivel de degradación de resistencia, a partir de ese momento el sistema presenta un mecanismo de disipación por flexión y su deformación deja de ser lineal a lo largo del elemento, en esta etapa el dispositivo presenta curvas histeréticas con una menor rigidez y lazos más alargados. Este doble mecanismo de falla proporciona un nivel de seguridad adicional del dispositivo que no se puede obtener fácilmente con otros mecanismos.

5.7 Dispositivos de Rolado de Elementos en Forma de U

Existe una amplia gama de dispositivos que basan sus principios de disipación de energía en el rolado de elementos con forma de U. Este mecanismo disipa energía por flexión en el elemento U debido al “rolado” producido por el desplazamiento relativo de sus extremos. Este principio fue estudiado en los ensayos de Kelly et al. (1972) en el cual se describió el mecanismo de falla como un retorcimiento localizado seguido de la fractura transversal del elemento, sin embargo, la histéresis producida resultó estable. La cantidad de energía disipada por unidad de tiempo se define por la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\dot{u}M_0}{R} \quad (5.10)$$

Donde D representa la potencia disipada, \dot{u} es la velocidad relativa entre los extremos del dispositivo, R es el radio de la zona en U y M_0 es el momento de fluencia del elemento. Para una sección rectangular de dimensiones $b \times t$ se tiene $M_0 = f_y b t^2 / 4$, por lo tanto:

$$D = \frac{f_y \dot{u} b t^2}{4R} \quad (5.11)$$



Figura 45 Sistema de Rolado en U Utilizado en el Punte Napo, Ecuador (Sísmica Ingenieros Consultores, 2013)



Figura 46 Disipador de Energía por Rolado en U en la Torre Titanium, Chile (Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

5.8 Ejercicio de Aplicación

5.8.1 Generalidades

A continuación se presenta un ejemplo que permite visualizar el efecto de la incorporación de dispositivos histeréticos de fluencia en un modelo estructural. El sistema principal consiste en un pórtico de un nivel con una luz $B=6.00$ m y una altura $H=3.00$ m tal como se muestra en la figura 47, el cual se idealiza como un sistema de 1GDL con su masa concentrada en la parte superior del mismo, la rigidez se obtiene a partir de las propiedades de las columnas asumiendo que el elemento estructural horizontal es infinitamente rígido, además se considera una respuesta no lineal del sistema utilizando un modelo elasto-plástico perfecto de fuerza-desplazamiento. La fuerza de

cedencia del sistema se halla de acuerdo a los resultados obtenidos mediante un análisis simple del pórtico estudiado de donde $P_y = 4M_y/H$, donde M_y es el momento de fluencia de las columnas obtenido a partir del diagrama de momento-curvatura de su sección y cuyo valor es $M_y = 4.54 \text{ Ton} - \text{m}$ considerando una idealización bilineal de la curva como se muestra en la figura 48, por lo tanto el valor de la fuerza de cedencia es $P_y = 6.05 \text{ Ton}$.

Posteriormente, el pórtico será reforzado mediante la incorporación de disipadores tipo ADAS con una geometría especificada en la figura 49 y comportamiento histerético que ha sido definido mediante un modelo bilineal.

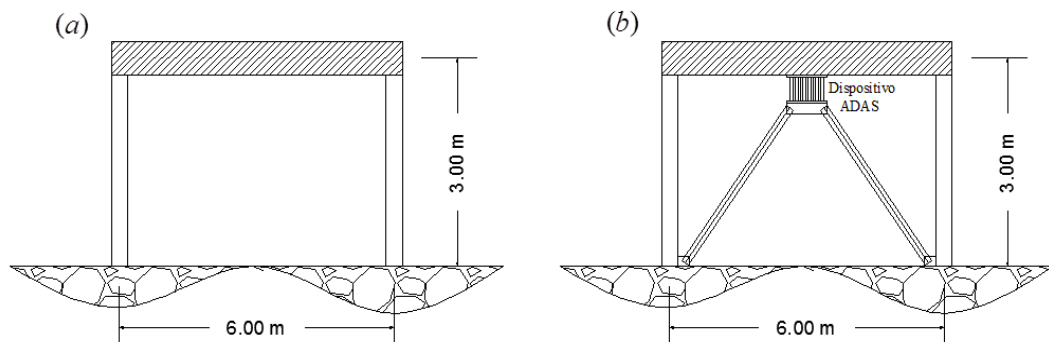


Figura 47 Pórtico Considerado en el Ejercicio de Aplicación (a) Sin Disipadores, (b) Con Disipadores

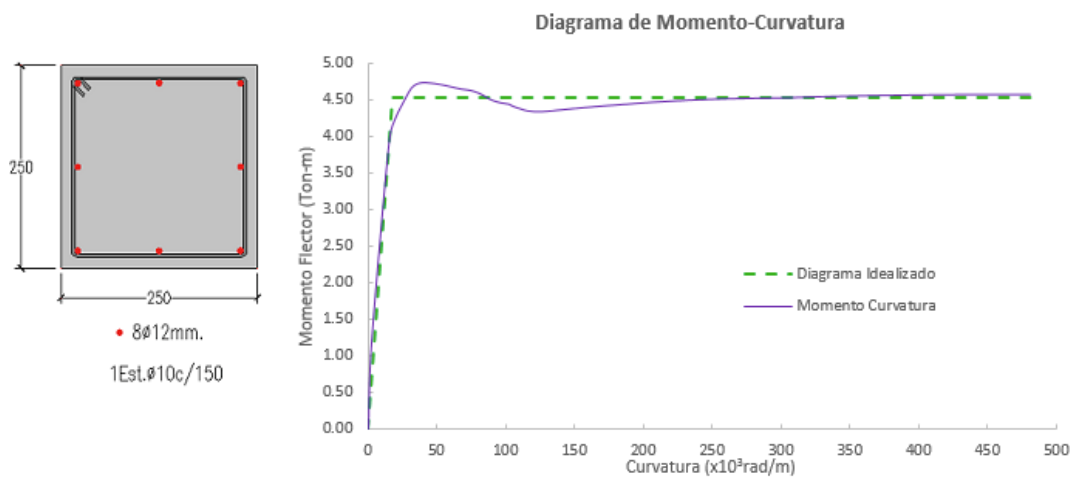
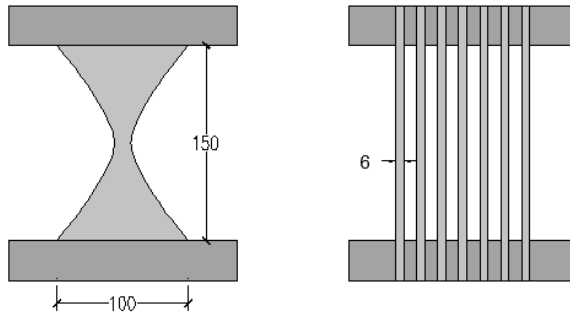


Figura 48 Sección Transversal de la Columna y Diagrama de Momento-Curvatura



* Todas las Dimensiones en Milímetros

Figura 49 Dimensiones Dispositivo ADAS Utilizado

Las características del pórtico y de los disipadores son las siguientes:

a. Generales:

$w = 4.00 \text{ Ton/m}$ Carga Uniformemente Distribuida

$W = 24.00 \text{ Ton}$ Peso Total del Sistema ($W = wB$)

b. Propiedades de las Columnas:

$b = 25.00 \text{ cm}$ Dimensión Sección Transversal (Columna Cuadrada)

$I = 32552.08 \text{ cm}^4$ Inercia de la Sección ($I = b^4/12$)

$E = 250000 \text{ kg/cm}^2$ Módulo de Elasticidad del Material de las Columnas

c. Propiedades Dinámicas del Sistema:

$m = 2.45 \text{ Ton s}^2/m$ Masa del Sistema Estructural ($m = W/g$)

$k = 723.38 \text{ Ton/m}$ Rigidez del Sistema Estructural ($k = 2 * 12EI/H^3$)

$c = 4.21 \text{ Ton s/m}$ Amortiguamiento del Sistema ($\zeta=0.05$) ($c = 2\zeta\sqrt{km}$)

$\omega_n = 17.20 \text{ rad/s}$ Frecuencia Natural del Sistema ($\omega_n = \sqrt{k/m}$)

$T_n = 0.3654 \text{ s}$ Periodo Natural del Sistema ($T_n = 2\pi/\omega_n$)

$P_y = 6.05 \text{ Ton}$ Carga de Cedencia del Sistema

d. Propiedades del Sistema Disipador de Energía:

*Se considera el sistema Arriostramiento-Disipador, suponiendo que el arriostramiento tipo Chevron actúa en serie con el disipador tipo ADAS.

d.1 Arriostramiento:

*Se asume que el arriostramiento permanece elástico durante todo el tiempo y que no existe pandeo.

$A = 22.56 \text{ cm}^2$	Área de la Sección Transversal del Arriostramiento
$E = 2030000 \text{ kg/cm}^2$	Módulo de Elasticidad del Material del Arriostramiento
$L = 4.24 \text{ m}$	Longitud del Arriostramiento ($L = \sqrt{(H)^2 + (B/2)^2}$)
$k_b = 10794.41 \text{ Ton/m}$	Rigidez Lateral de los Arriostramientos ($k_b = 2 * AE \cos^2 \theta / L$)

d.2 Dispositivo ADAS:

*Se utiliza la misma notación y ecuaciones que en la sección 5.3.

$N = 7$	Número de Placas Utilizadas
$b = 100 \text{ mm}$	Ancho de la Placa en la Base
$t = 6 \text{ mm}$	Espesor de la Placa
$h = 150 \text{ mm}$	Altura del Dispositivo
$E = 2030000 \text{ kg/cm}^2$	Módulo de Elasticidad del Material del Dispositivo
$f_y = 2520 \text{ kg/cm}^2$	Esfuerzo de Fluencia del Material del Dispositivo (Acero A36)
$k_d = 606.29 \text{ Ton/m}$	Rigidez Elástica del Dispositivo
$P_y = 1.41 \text{ Ton}$	Fuerza de Fluencia del Dispositivo
$\Delta_y = 0.23 \text{ cm}$	Desplazamiento de Fluencia del Dispositivo

d.3 Sistema Arriostamiento-Dispositivo:

$k_a = 574.05 \text{ Ton/m}$	Rigidez Elástica del Sistema Arriostamiento-Dispositivo
$\alpha = 0.05$	Coefficiente de Rigidez Pos-Elástica
$P_y = 1.41 \text{ Ton}$	Fuerza de Fluencia del Sistema Arriostamiento-Dispositivo
$\Delta_y = 0.25 \text{ cm}$	Desplazamiento de Fluencia del Sistema Arriostamiento-Dispositivo

El ejercicio de aplicación consiste en el análisis dinámico del sistema sometido a una excitación externa correspondiente a la componente Norte-Sur del sismo de Imperial Valley, registro de El Centro, 1940. La respuesta se obtiene utilizando el método de la diferencia central; este método es probablemente el más simple aplicable a sistemas no-lineales debido a que es explícito y no requiere de procesos iterativos, por esta razón puede ser fácilmente incorporado en una hoja de cálculo. El proceso a seguir es el siguiente:

1. Se analiza el modelo estructural sin la aplicación de los disipadores.
2. Se hace un nuevo análisis de la respuesta del sistema, una vez incorporados los dispositivos disipadores.
3. Se presentan los resultados de las respuestas en cada caso.
4. Se realiza un análisis comparativo de los mismos.

5.8.2 Método de la Diferencia Central

Previo al desarrollo del ejercicio de aplicación se explica brevemente el método numérico de la diferencia central, el cual fue utilizado para obtener la respuesta dinámica del sistema. Este método se basa en la aproximación de diferencias alrededor del punto evaluado (de ahí su nombre “diferencia central”) de las derivadas del desplazamiento con respecto al tiempo utilizando la notación de la serie de Taylor. Tomando una variación de tiempo Δt constante se puede expresar las velocidades y aceleraciones \dot{u}_i, \ddot{u}_i en el paso i del análisis de esta manera:

$$\dot{u}_i = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2\Delta t} \quad \ddot{u}_i = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{(\Delta t)^2} \quad (5.12)$$

Si se reemplazan estas expresiones en la ecuación general de movimiento se puede despejar u_{i+1} que es la única variable desconocida, ya que se supone que los valores de desplazamiento u_i y u_{i-1} se obtuvieron en pasos anteriores, de esta manera se puede obtener la respuesta de cualquier sistema no lineal, inclusive considerar el efecto de dispositivos disipadores de energía simplemente reemplazando las expresiones y despejando u_{i+1} . Para el caso general de un sistema no lineal con una fuerza elástica/inelástica f_s la expresión para determinar la respuesta queda de la siguiente manera:

$$\hat{k}u_{i+1} = \hat{p}_i \quad (5.13)$$

Donde:

$$\hat{k} = \frac{m}{(\Delta t)^2} + \frac{c}{2\Delta t} \quad (5.14)$$

$$\hat{p}_i = p_i - \left[\frac{m}{(\Delta t)^2} - \frac{c}{2\Delta t} \right] u_{i-1} + \frac{2m}{(\Delta t)^2} u_i - f_{si} \quad (5.15)$$

Al utilizar métodos numéricos siempre es importante verificar las limitaciones que presentan los mismos en cuanto a la validez de sus resultados y la estabilidad que ofrecen. En el caso particular del método de la

diferencia central se especifica que el requerimiento para lograr que el método sea estable y brinde resultados confiables es utilizar un salto de tiempo Δt lo suficientemente pequeño para satisfacer la siguiente desigualdad:

$$\Delta t < \frac{T_n}{\pi} \quad (5.16)$$

Por lo general esto no representa un mayor problema al momento de analizar sistemas sometidos a excitaciones sísmicas, debido a que los registros acelerográficos de un sismo se toman en saltos de tiempo pequeños, usualmente 0.020, 0.010 o 0.005 segundos, mientras que los periodos naturales de vibración son mucho mayores que estos valores.

5.8.3 Respuesta del Sistema Sin Disipadores

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis del modelo estructural sin disipadores. Se elaboró una hoja de cálculo para el efecto. Se presentan gráficas que describen la respuesta del sistema de desplazamiento, velocidad y aceleración en el tiempo, también la relación fuerza-desplazamiento de cada componente dinámico del sistema y finalmente se presentan diagramas que representan la respuesta del sistema desde el punto de vista energético.

Desplazamiento Máximo	2.86 cm
Velocidad Máxima	25.58 cm/s
Aceleración Máxima	4.56 m/s ²
Deformación Permanente	1.99 cm
$E_y \text{ max}$	0.5553 Ton-m
E_v/E_i	54.54%

Tabla 4 Resumen de Resultados del Sistema Sin Disipadores

Se observa que un 54.54% de la energía de ingreso debido al sismo es disipada por el comportamiento inelástico del sistema, un poco más de la mitad, esto hace que al final de la excitación exista una deformación permanente de 1.99 cm. En las gráficas de respuesta energética se observa

que la mayor parte de la inelasticidad ocurre durante los primeros 15 segundos del sismo.

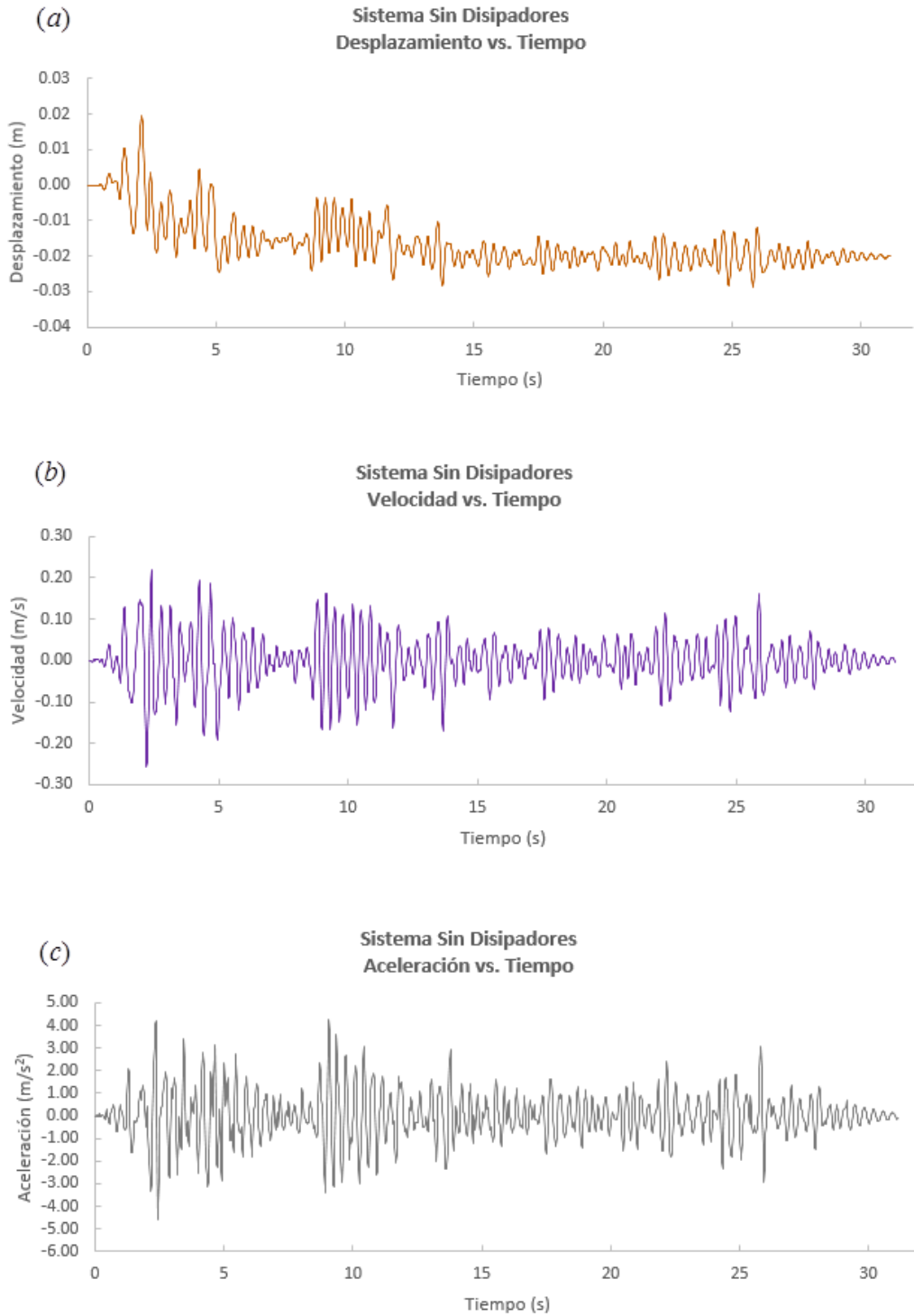


Figura 50 Respuesta del Sistema Sin Disipadores (a) Desplazamiento vs. Tiempo, (b) Velocidad vs. Tiempo, (c) Aceleración vs. Tiempo

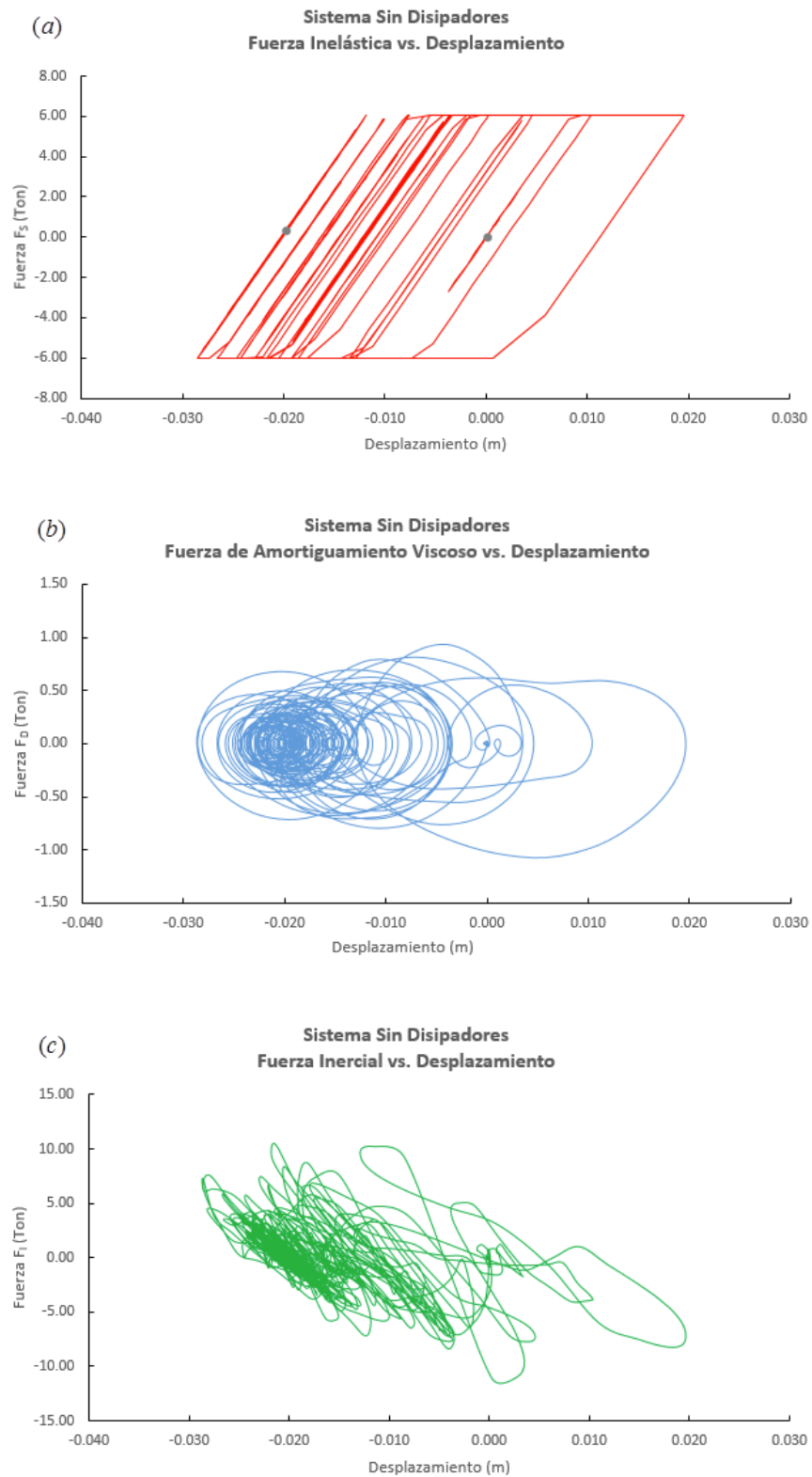


Figura 51 Sistema Sin Disipadores: Relación Fuerza-Desplazamiento de los Componentes Dinámicos del Sistema (a) Componente Elástico/Inelástico, (b) Componente de Amortiguamiento Viscoso, (c) Componente Inercial

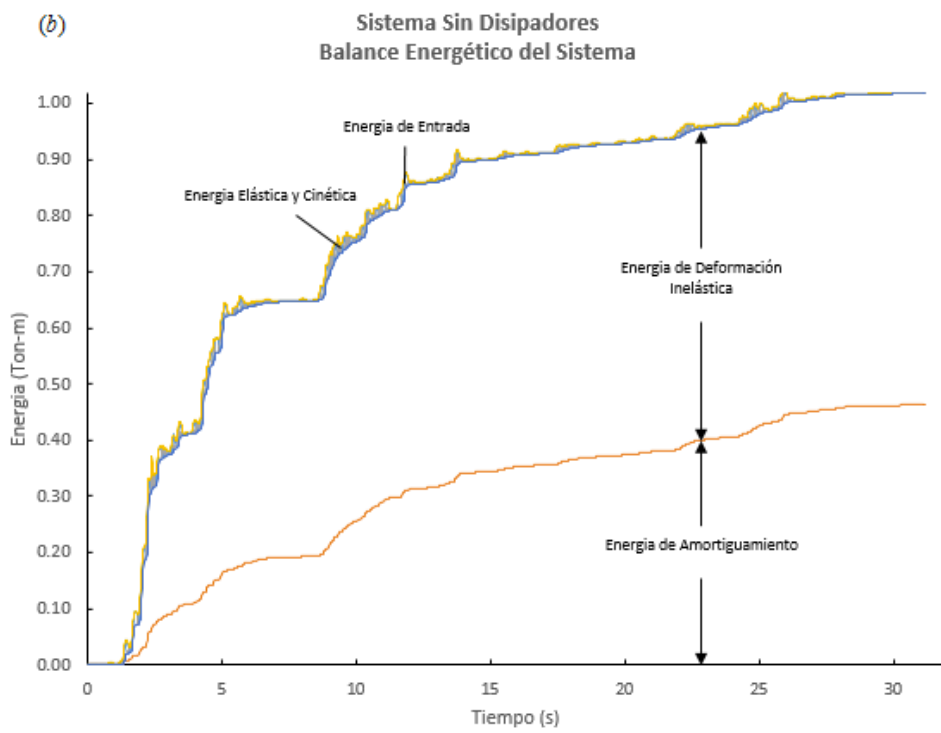
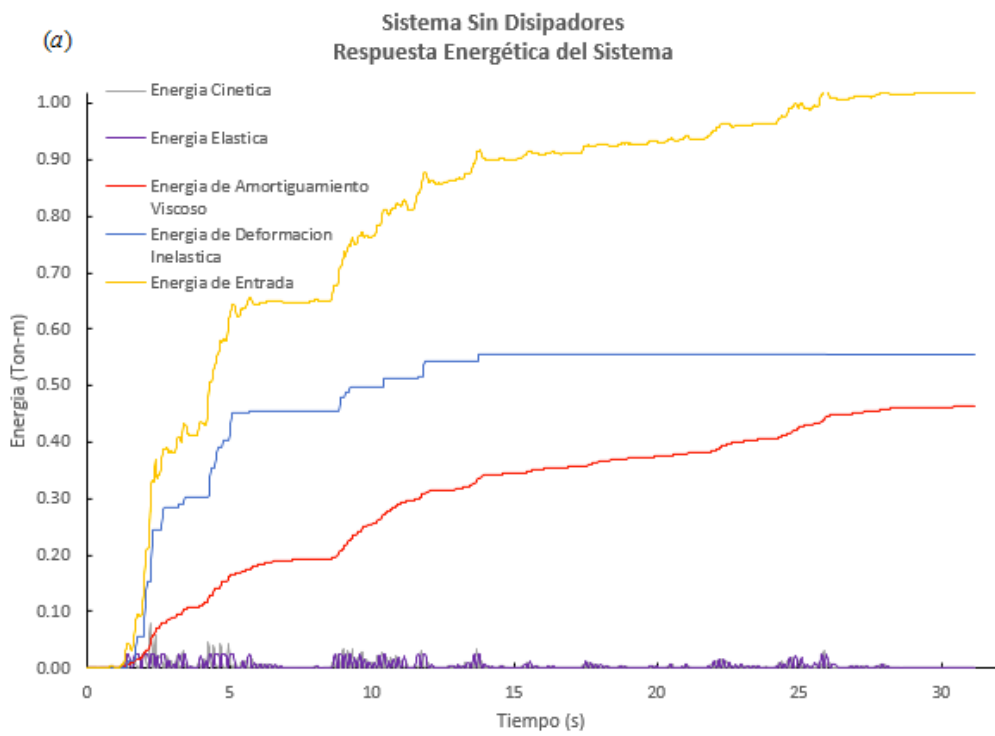


Figura 52 Sistema Sin Disipadores: (a) Respuesta Energética del Sistema, (b) Balance Energético

5.8.4 Respuesta del Sistema Con Disipadores

La siguiente tabla presenta el resumen de los resultados del análisis del sistema una vez que se incorporan los disipadores al mismo. Se presentan además las gráficas correspondientes.

Desplazamiento Máximo	1.59 cm
Velocidad Máxima	22.69 cm/s
Aceleración Máxima	6.12 m/s ²
Deformación Permanente	0.30 cm
E_y max	0.1193 Ton-m
E_{ADAS} max	0.4231 Ton-m
E_y/E_I	14.41%
E_{ADAS}/E_I	51.11%

Tabla 5 Resumen de Resultados del Sistema Con Disipadores

Se observa que aproximadamente la mitad de la energía de ingreso debido al sismo es disipada por el dispositivo ADAS, mientras que la inelasticidad en el sistema principal disipa un 14.41%, por lo cual existe una deformación permanente de 0.30 cm al final de la excitación. En las gráficas de respuesta energética se observa que casi la totalidad de respuesta inelástica en el sistema principal ocurre durante los primeros 5 segundos del sismo.

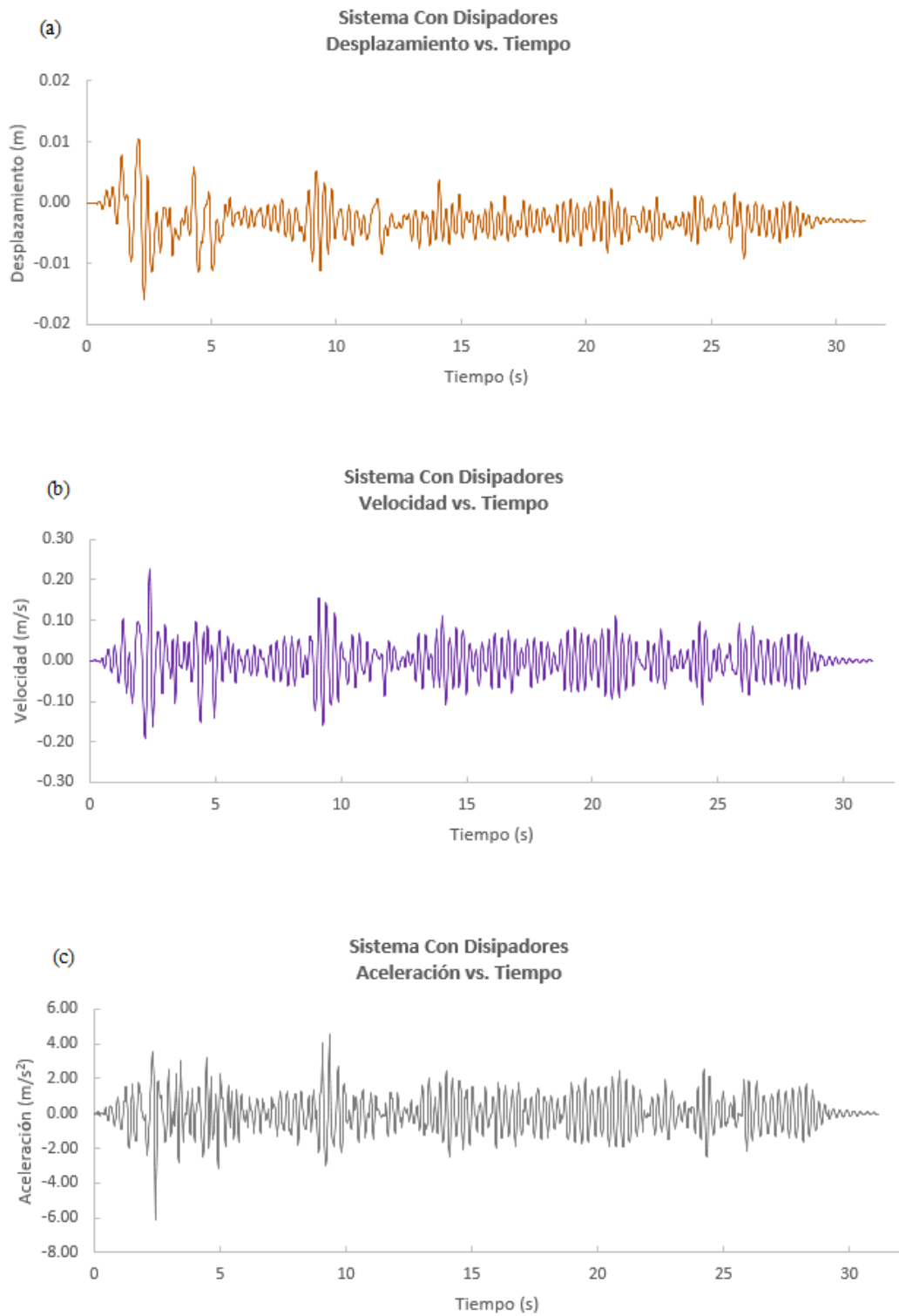


Figura 53 Respuesta del Sistema Con Disipadores (a) Desplazamiento vs. Tiempo, (b) Velocidad vs. Tiempo, (c) Aceleración vs. Tiempo

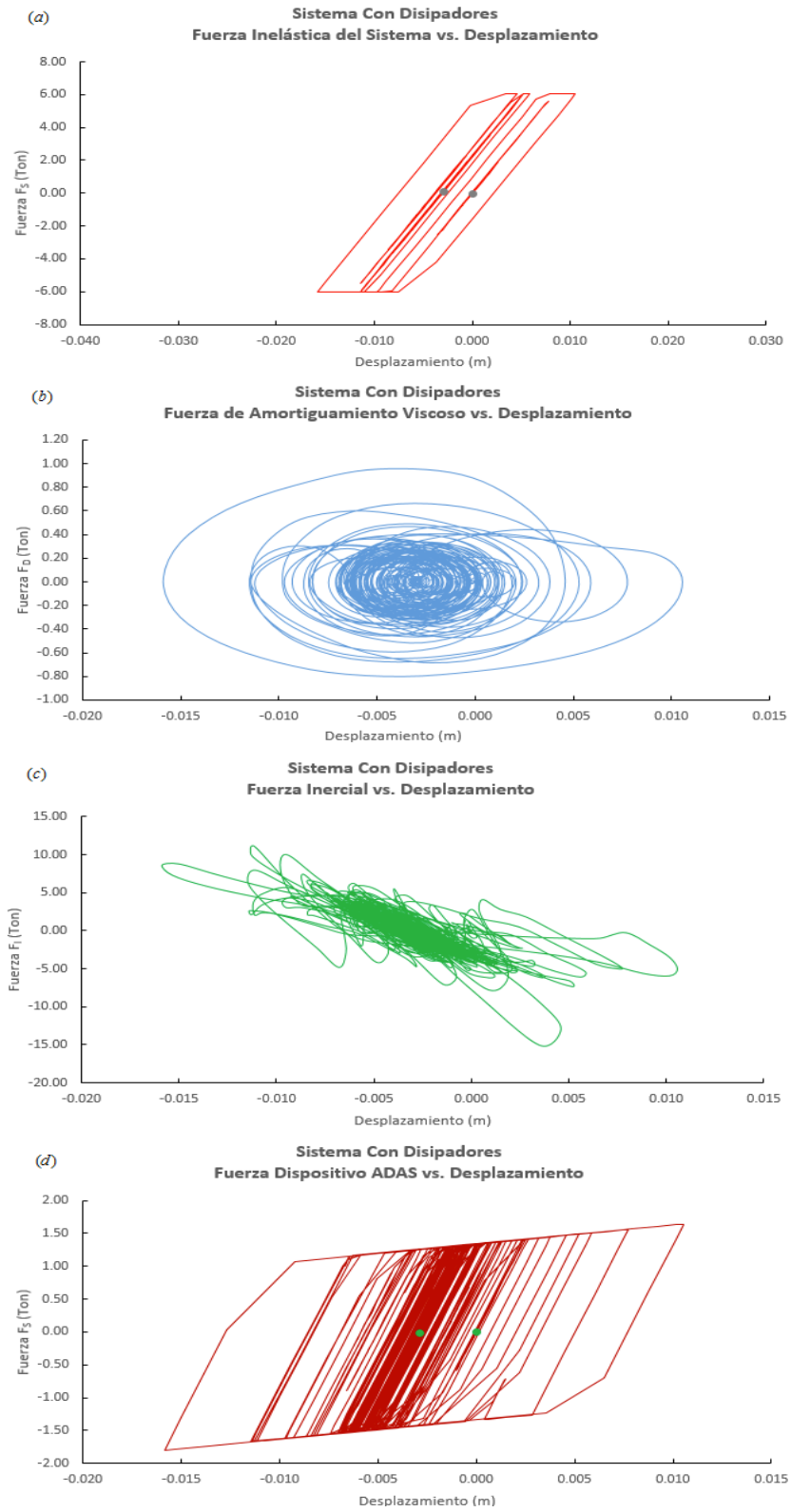


Figura 54 Sistema Con Disipadores: Relación Fuerza-Desplazamiento de los Componentes Dinámicos del Sistema (a) Componente Elástico/Inelástico, (b) Componente de Amortiguamiento Viscoso, (c) Componente Inercial (d) Componente del Disipador ADAS

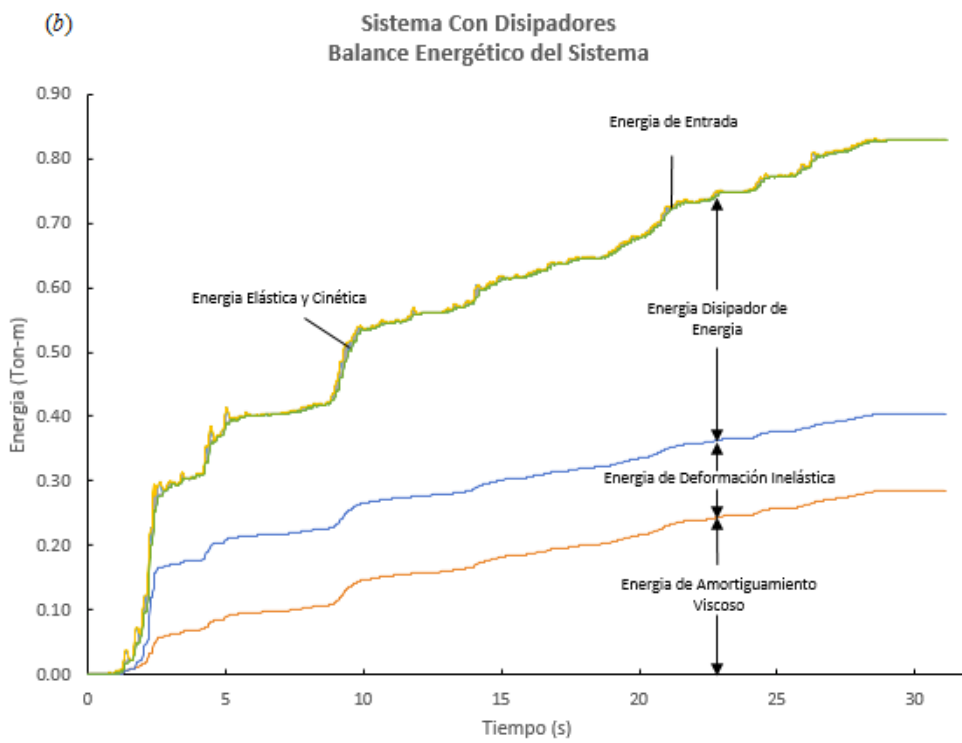
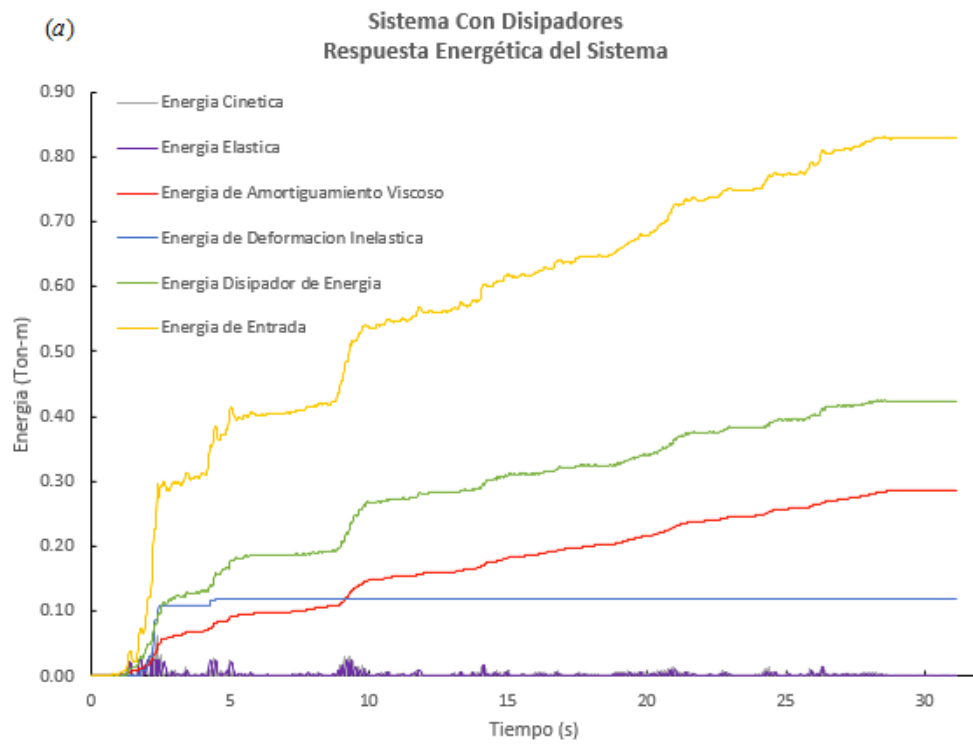


Figura 55 Sistema Con Disipadores: (a) Respuesta Energética del Sistema, (b) Balance Energético

5.8.5 Comparación de la Respuesta del Sistema Sin Disipadores y Con Disipadores

A continuación se presenta una tabla comparativa de los resultados ya presentados en la cual se añade una columna que muestra el porcentaje de reducción logrado por la incorporación de los dispositivos histeréticos.

Parámetro	Sin Disipadores	Con Disipadores	Porcentaje de Reducción
Desplazamiento Máximo	2.86 cm	1.59 cm	44.55%
Velocidad Máxima	25.58 cm/s	22.69 cm/s	11.29%
Aceleración Máxima	4.56 m/s ²	6.12 m/s ²	-34.22%
Deformación Permanente	1.99 cm	0.30 cm	85.12%
$E_{y_{max}}$	0.5553 Ton-m	0.1193 Ton-m	78.51%
$E_{ADAS_{max}}$	-	0.4231 Ton-m	-
E_y/E_i	54.54%	14.41%	73.57%
E_{ADAS}/E_i	-	51.11%	-

*INCREMENTO

Tabla 6 Tabla Comparativa de la Respuesta del Sistema Sin Disipadores y Con Disipadores

Se observa que el desplazamiento máximo del sistema se reduce en un 44.55%, casi a la mitad, la velocidad máxima también presenta un grado de reducción, aunque mucho menos notable (11.29%), sin embargo la aceleración máxima se incrementa de 4.56 m/s² a 6.12 m/s² al incorporar los dispositivos ADAS. La cantidad de energía disipada por inelasticidad en el sistema principal se reduce de 0.5553 Ton – m a 0.1193 Ton – m correspondiente respectivamente a un 54.54% y 14.41% de la energía de ingreso por el sismo en cada caso, de igual manera las deformaciones permanentes luego de la excitación se reducen en un 85.12%, las dos últimas observaciones y la reducción del desplazamiento máximo indican una incursión mucho menor del sistema principal en el rango inelástico reduciendo el nivel de daño en los miembros estructurales, lo cual es el principal objetivo de la incorporación de estos dispositivos a una estructura.

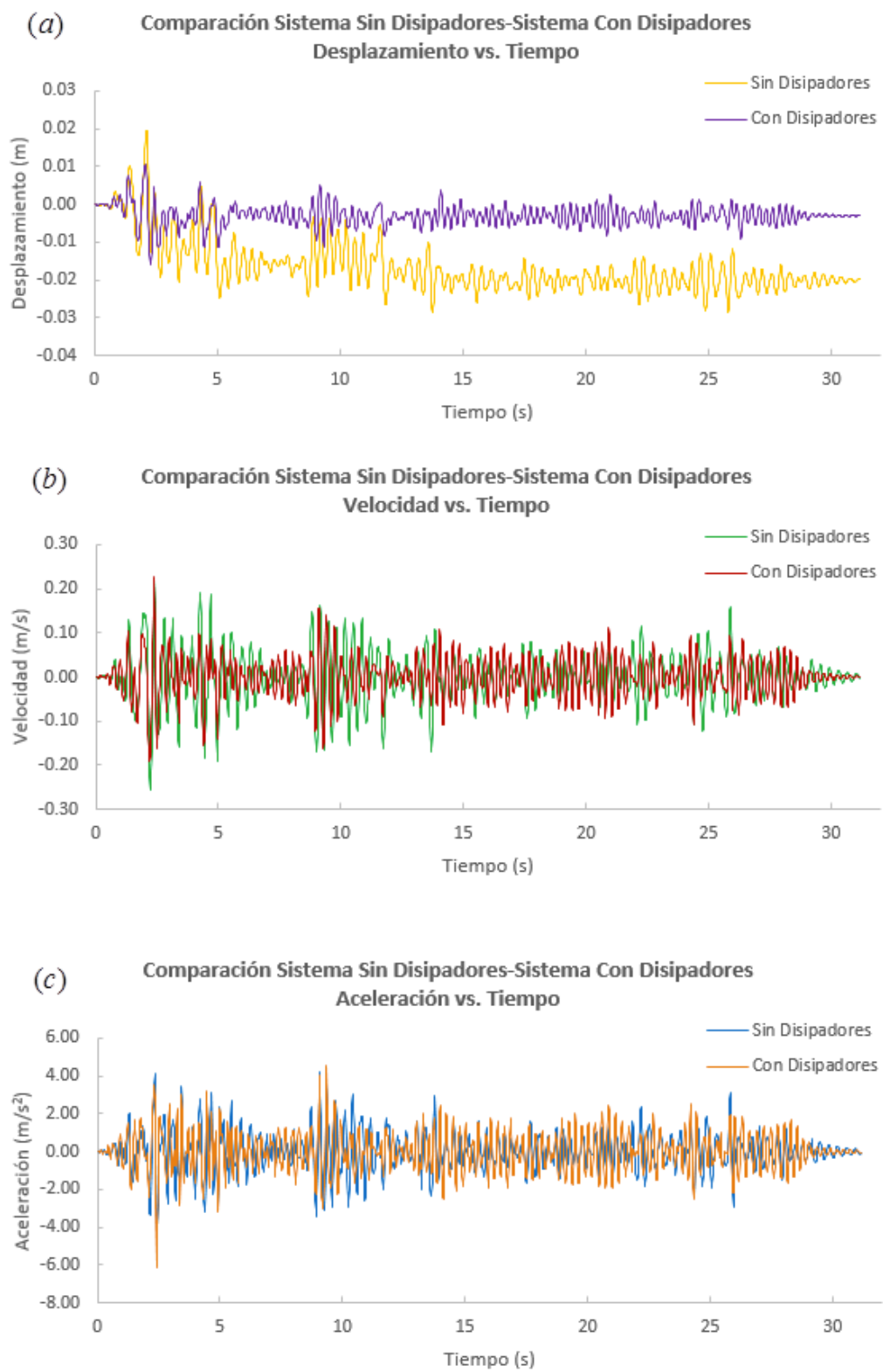


Figura 56 Comparación de la Respuesta de Sistema Sin Disipador y Con Disipador, (a) Desplazamiento vs. Tiempo, (b) Velocidad vs. Tiempo, (c) Aceleración vs. Tiempo

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO

6.1 Introducción

El presente capítulo consiste en el análisis y diseño de tres pórticos de hormigón armado que serán utilizados en los capítulos posteriores. Para el efecto se realizará un análisis dinámico espectral utilizando un espectro de diseño de acuerdo a las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 (NEC 11). Se utilizará el programa de elementos finitos SAP2000 v16.1.0 para determinar los esfuerzos internos en los elementos, las deformaciones verticales y las derivas de entrepiso y posteriormente realizar el diseño estructural de cada uno de los pórticos.

6.2 Normas y Códigos Utilizados

Para la estimación y aplicación de las cargas gravitacionales y sísmicas se utilizaron las siguientes normas y códigos:

- NEC11: Norma Ecuatoriana de la Construcción.
 - Capítulo 1: Cargas y Materiales.
 - Capítulo 2: Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo-Resistente.
- ASCE/SEI 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers.

Para el análisis y diseño de los elementos de hormigón armado:

- ACI 318-11: Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute.

6.3 Materiales

Los materiales utilizados y sus respectivas propiedades consideradas en el análisis estructural son los siguientes:

- Hormigón de Vigas y Columnas:
 - Peso Específico: $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
 - Resistencia a la Compresión a los 28 días: $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
 - Módulo de Elasticidad: $E = 252671 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de Refuerzo en Barras ASTM A706:
 - Peso Específico: $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$
 - Esfuerzo de Fluencia: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 - Módulo de Elasticidad: $E = 2030000 \text{ kg/cm}^2$

6.4 Descripción General de las Estructuras

Las estructuras analizadas son tres pórticos bidimensionales conformados por vigas y columnas de hormigón armado de 4, 8 y 12 niveles respectivamente. La altura del primer piso en cada pórtico es de 4.50 m , la altura de entrepiso del resto de pisos es de 3.60 m , por lo que la altura total de los pórticos de 4, 8 y 12 pisos son de 15.30 m , 29.70 m y 44.10 m respectivamente. Cada pórtico consiste de cinco luces de 6.00 m de longitud de centro a centro entre columnas. La longitud total de los pórticos en el sentido X es de 30.00 m cada uno.



Figura 57 Modelo del Pórtico de 4 pisos (Altura Total 15.30 m)

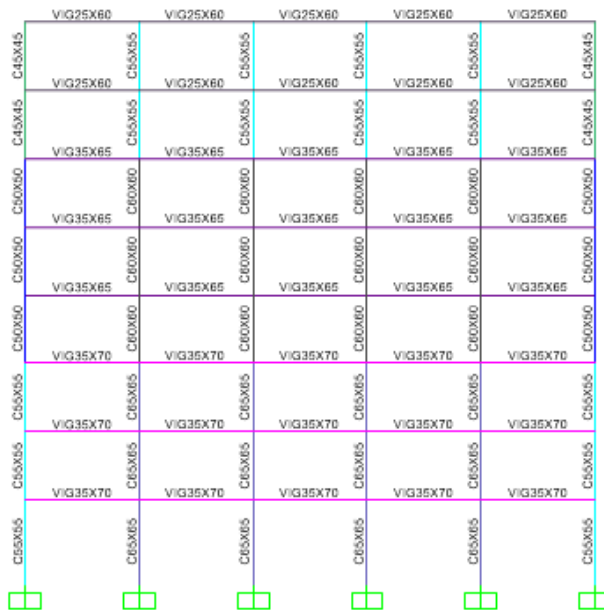


Figura 58 Modelo del Pórtico de 8 pisos (Altura Total 29.70 m)

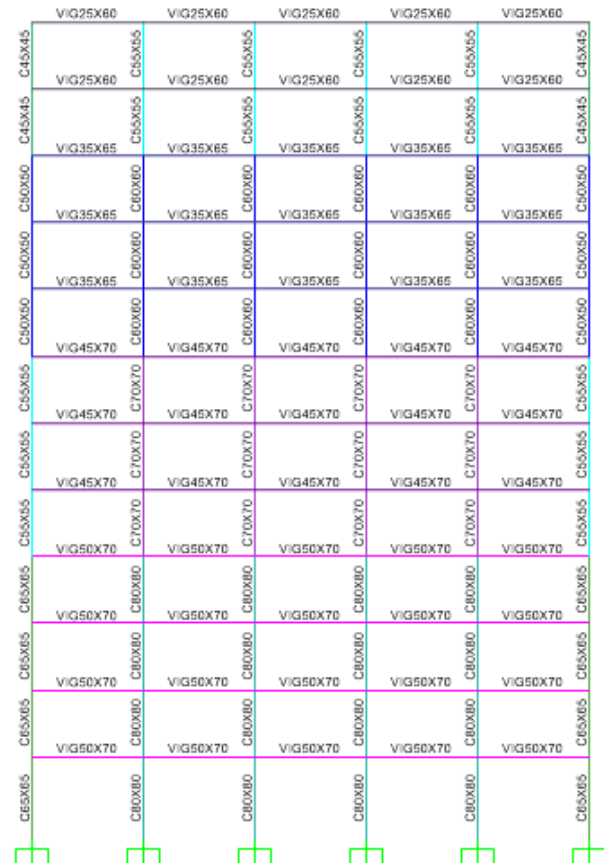


Figura 59 Modelo del Pórtico de 12 pisos (Altura Total 44.10 m)

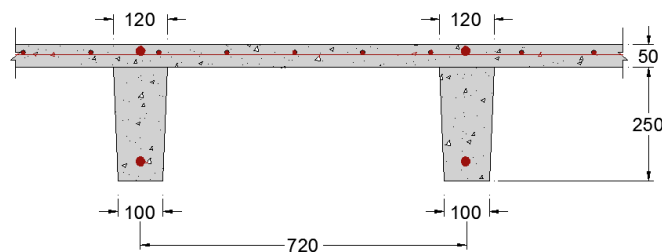
6.5 Hipótesis del Modelo

Para la modelación de cada pórtico se consideraron las siguientes hipótesis:

- Cada piso es infinitamente rígido en su plano, por lo que se ha asignado una coacción de diafragma en todos los puntos pertenecientes a cada piso.
- Las columnas y vigas, al ser elementos con una dimensión longitudinal mucho mayor a sus dimensiones transversales se modelaron utilizando elementos tipo Frame, considerando las propiedades seccionales y de los materiales utilizados en su definición.
- Todas las conexiones transmiten fuerzas y momentos.
- Los extremos inferiores de las columnas en la base se han considerado empotrados.
- Se han considerado secciones agrietadas de acuerdo a las recomendaciones de la NEC11. Esto es un 80% de la inercia gruesa para las columnas. Los efectos del agrietamiento en las secciones de las vigas han sido despreciados para considerar la contribución de la losa de piso a la rigidez de la misma.

6.6 Cargas Aplicadas

6.6.1 Carga Muerta (DL)



*Dimensiones en milímetros

Figura 60 Detalle de Dimensiones de la Losa Nervada Considerada

Para el estado de carga muerta el programa determina el peso propio de los elementos modelados en función de sus materiales y su geometría.

Adicionalmente se consideró una carga muerta impuesta de 562 kg/m^2 que considera lo siguiente:

ELEMENTO	CARGA
Peso Propio de la Losa	212 kg/m^2
Paredes de Mampostería	150 kg/m^2
Baldosas de Piso	100 kg/m^2
Tumbado	50 kg/m^2
Instalaciones Eléctricas y Sanitarias	50 kg/m^2
TOTAL	562 kg/m^2

Tabla 7 Componentes de Carga Muerta Adicional

La carga se aplicó sobre las vigas como una carga uniformemente distribuida considerando un ancho tributario de 6.00 m , por lo que el valor de la carga ingresada en el programa será $w_{DL} = (6.00 \text{ m})(0.562 \text{ Ton/m}^2) = 3.37 \text{ Ton/m}$.

6.6.2 Carga Viva (LL)

Se consideró una carga viva de 240 kg/m^2 correspondiente a un tipo de ocupación para uso de oficinas. La carga se aplicó sobre las vigas como una carga uniformemente distribuida considerando un ancho tributario de 6.00 m , por lo que el valor de la carga ingresada en el programa será $w_{LL} = (6.00 \text{ m})(0.240 \text{ Ton/m}^2) = 1.44 \text{ Ton/m}$.

6.6.3 Carga Sísmica (EQ)

Para el análisis y diseño de la estructura ante solicitaciones sísmicas se utilizó un análisis modal espectral, utilizando un espectro de aceleraciones sísmicas determinado de acuerdo a la NEC11, correspondiente a un sismo de diseño con un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años). Se consideró un peso sísmico igual al 100% de la carga muerta + 25% de la carga viva.

Espectro de Aceleraciones - NEC11

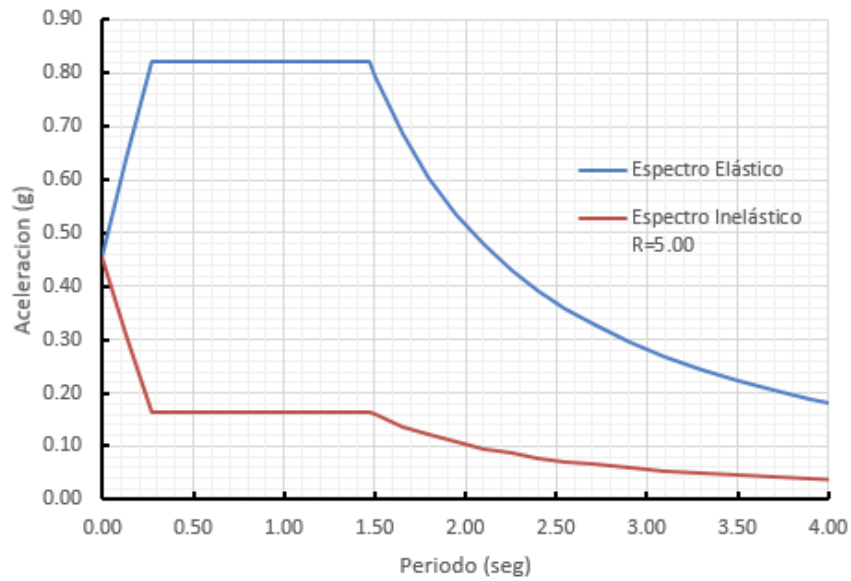


Figura 61 Espectro de Aceleraciones (Elástico e Inelástico) $Z=0.40$, $I=1.00$, $R=5.00$, Suelo Tipo E

Los parámetros considerados en el espectro de diseño son los siguientes:

- $Z = 0.40$: Zona Sísmica V (Alta) a la que corresponde la ciudad de Guayaquil.
- $\eta = 1.80$: Relación de Amplificación Espectral (Toda la Costa, excepto Esmeraldas)
- SE : Suelo Tipo E (Suelo Blando)
 - $F_a = 1.14$
 - $F_d = 1.60$
 - $F_s = 1.90$
 - $r = 1.50$
- $I = 1.00$: Factor de Importancia (Otras Estructuras)
- $R = 5.00$: Coeficiente de Reducción Inelástica
- $\phi_P = 1.00$: Factor de Irregularidad en Planta
- $\phi_E = 1.00$: Factor de Irregularidad en Elevación

6.6.4 Combinaciones de Carga

Se utilizaron las siguientes combinaciones de carga para el diseño de los elementos de hormigón armado de los pórticos considerados. Las mismas están de acuerdo a las recomendaciones de ASCE/SEI 7-10, ACI 318-11 y NEC 11. Para el cálculo de deformaciones verticales se utilizó una combinación de servicio de acuerdo a ASCE/SEI 7-10 y para el cálculo de derivas de entrepiso se consideró la carga sísmica EQ previamente definida.

Combinaciones de Diseño:

- COMB1: 1.4 DL
- COMB2: 1.2 DL + 1.6 LL
- COMB3: 1.2 DL + 0.5 LL + 1.0 EQ
- COMB4: 0.9 DL + 1.0 EQ
- ENV: Envoltente COMB1, COMB2, COMB3, COMB4

Combinación de Servicio:

- COMB5: 1.0 DL + 1.0LL

6.7 Resultados del Análisis Estructural

6.7.1 Análisis Modal

Para el análisis modal se siguieron las recomendaciones de la NEC11 y se consideró una masa participativa igual al 100% de la carga muerta + 25% de la carga viva. Se utilizó un número de modos de vibración suficiente para que la masa acumulada de los mismos sea al menos un 90% de la masa participativa total en la dirección X.

A continuación se muestran los resultados del análisis modal ejecutado por el programa SAP2000 v16.1.0 para cada uno de los pórticos considerados:

Modo de Vibración	Periodo (seg)	Masa X	Masa X Acum.
1	0.8635	90.09%	90.09%
2	0.3000	8.26%	98.35%
3	0.1640	1.23%	99.57%
4	0.1174	0.43%	100.00%

Tabla 8 Modos de Vibración y Masa Acumulada en X del Pórtico de 4 Pisos

Modo de Vibración	Periodo (seg)	Masa X	Masa X Acum.
1	1.1296	83.06%	83.06%
2	0.4052	10.97%	94.03%
3	0.2394	3.37%	97.40%
4	0.1573	1.43%	98.83%
5	0.1164	0.65%	99.48%
6	0.1104	0.00%	99.48%
7	0.1067	0.00%	99.48%
8	0.1012	0.00%	99.48%
9	0.0954	0.01%	99.49%
10	0.0930	0.28%	99.77%
11	0.0888	0.00%	99.77%
12	0.0884	0.01%	99.78%

Tabla 9 Modos de Vibración y Masa Acumulada en X del Pórtico de 8 Pisos

Modo de Vibración	Periodo (seg)	Masa X	Masa X Acum.
1	1.3739	76.63%	76.63%
2	0.5311	13.66%	90.29%
3	0.3093	4.33%	94.62%
4	0.2201	2.15%	96.77%
5	0.1581	1.21%	97.98%
6	0.1392	9.13E-20	97.98%
7	0.1327	0.01%	97.99%
8	0.1266	0.79%	98.77%
9	0.1226	0.00%	98.77%
10	0.1128	0.00%	98.77%
11	0.1064	0.00%	98.77%
12	0.1037	0.02%	98.79%

Tabla 10 Modos de Vibración y Masa Acumulada en X del Pórtico de 12 Pisos

6.7.2 Revisión de Derivas Inelásticas

A partir del estado de carga EQ se obtienen las deformaciones laterales resultantes y se procede a la revisión de las derivas inelásticas de entrepiso con el fin de evitar daños excesivos en los miembros estructurales y no-estructurales. Según las recomendaciones de la NEC11, para estructuras de

hormigón armado se debe limitar las derivas inelásticas Δ_M a un valor menor al 2%, donde:

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E$$

Donde R es el factor de reducción previamente definido y Δ_E es la deriva obtenida a partir del análisis elástico con el espectro reducido (desplazamiento relativo dividido para la altura de entrepiso).

A continuación se presentan los resultados del análisis y la revisión de derivas de entrepiso de cada pódico

Piso	δ (cm)	$\Delta\delta$ (cm)	0.75R	H (cm)	Δ_M	$\Delta_M < 2\%$
PB	0.00					
P1	1.49	1.49	3.75	450.00	1.24%	OK
P2	2.43	0.94	3.75	360.00	0.98%	OK
P3	3.33	0.90	3.75	360.00	0.94%	OK
P4	3.87	0.54	3.75	360.00	0.56%	OK

Tabla 11 Revisión de Derivas Inelásticas del Pódico de 4 Pisos

Piso	δ (cm)	$\Delta\delta$ (cm)	0.75R	H (cm)	Δ_M	$\Delta_M < 2\%$
PB	0.00					
P1	1.21	1.21	3.75	450.00	1.01%	OK
P2	2.23	1.02	3.75	360.00	1.06%	OK
P3	3.18	0.95	3.75	360.00	0.99%	OK
P4	4.19	1.01	3.75	360.00	1.05%	OK
P5	5.11	0.92	3.75	360.00	0.96%	OK
P6	5.86	0.75	3.75	360.00	0.78%	OK
P7	6.54	0.68	3.75	360.00	0.71%	OK
P8	7.00	0.46	3.75	360.00	0.48%	OK

Tabla 12 Revisión de Derivas Inelásticas del Pódico de 8 Pisos

Piso	δ (cm)	$\Delta\delta$ (cm)	0.75R	H (cm)	Δ_M	$\Delta_M < 2\%$
PB	0.00					
P1	0.97	0.97	3.75	450.00	0.81%	OK
P2	1.90	0.93	3.75	360.00	0.97%	OK
P3	2.83	0.93	3.75	360.00	0.97%	OK
P4	3.73	0.90	3.75	360.00	0.94%	OK
P5	4.75	1.02	3.75	360.00	1.06%	OK
P6	5.73	0.98	3.75	360.00	1.02%	OK
P7	6.64	0.91	3.75	360.00	0.95%	OK
P8	7.73	1.09	3.75	360.00	1.14%	OK
P9	8.79	1.06	3.75	360.00	1.10%	OK
P10	9.66	0.87	3.75	360.00	0.91%	OK
P11	10.44	0.78	3.75	360.00	0.81%	OK
P12	10.98	0.54	3.75	360.00	0.56%	OK

Tabla 13 Revisión de Derivas Inelásticas del Pórtico de 12 Pisos

6.8 Diseño Estructural

Para el diseño de los pórticos se consideran los resultados de sus respectivos análisis de todos los estados y combinaciones de carga, basándose en los valores críticos de flexión, cortante y fuerza axial. Se debe comprobar que las fuerzas internas de cada elemento no superen las fuerzas resistentes para poder determinar el refuerzo adecuado en cada caso.

Las fuerzas internas de un elemento Frame consideradas en un análisis bidimensional son:

- P : Fuerza Axial
- V22 : Fuerza Cortante
- M33 : Momento Flector

6.8.1 Diseño de Columnas

Para el chequeo de las columnas de hormigón armado se consideran las combinaciones críticas de flexocompresión uniaxial para cada una de las combinaciones de carga de diseño definidas. Se realizaron los respectivos diagramas de interacción de carga axial – momento flector siguiendo las recomendaciones del ACI 318-11 y sus factores de reducción. Las relaciones

de armado mínimo longitudinal y transversal de estos elementos satisfacen también los requerimientos del ACI 318-11 en su Capítulo 21.

Los resultados del diseño de cada columna se presentan en los Anexos, a continuación se presenta un resumen de las secciones de columnas utilizadas en cada uno de los pórticos:

Pisos	Exteriores		Interiores	
	Dimensiones	Armado	Dimensiones	Armado
1-2	40x40	8 ϕ 18mm ($\rho=1.27\%$)	50x50	16 ϕ 16mm ($\rho=1.29\%$)
		2 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
3-4	35x35	8 ϕ 16mm ($\rho=1.31\%$)	45x45	12 ϕ 16mm ($\rho=1.19\%$)
		2 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm

Tabla 14 Columnas Utilizadas en el Pórtico de 4 Pisos

Pisos	Exteriores		Interiores	
	Dimensiones	Armado	Dimensiones	Armado
1-2-3	55x55	16 ϕ 18mm ($\rho=1.35\%$)	65x65	20 ϕ 18mm ($\rho=1.20\%$)
		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		5 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
4-5-6	50x50	12 ϕ 18mm ($\rho=1.22\%$)	60x60	16 ϕ 18mm ($\rho=1.13\%$)
		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
7-8	45x45	12 ϕ 16mm ($\rho=1.19\%$)	55x55	16 ϕ 16mm ($\rho=1.06\%$)
		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm

Tabla 15 Columnas Utilizadas en el Pórtico de 8 Pisos

Pisos	Exteriores		Interiores	
	Dimensiones	Armado	Dimensiones	Armado
1-2-3-4	65x65	20 ϕ 20mm ($\rho=1.49\%$)	80x80	24 ϕ 20mm ($\rho=1.18\%$)
		5 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		6 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
5-6-7	55x55	16 ϕ 18mm ($\rho=1.35\%$)	70x70	20 ϕ 20mm ($\rho=1.28\%$)
		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		5 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
8-9-10	50x50	12 ϕ 18mm ($\rho=1.22\%$)	60x60	16 ϕ 18mm ($\rho=1.13\%$)
		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
11-12	45x45	12 ϕ 16mm ($\rho=1.19\%$)	55x55	16 ϕ 16mm ($\rho=1.06\%$)
		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm		3 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm

Tabla 16 Columnas Utilizadas en el Pórtico de 12 Pisos

6.8.2 Diseño de Vigas

Para el chequeo de las vigas de hormigón armado se consideran las fuerzas internas de momento flector y fuerza cortante críticas en cada una de las secciones definidas. El acero longitudinal y transversal satisface las demandas de flexión y corte en los elementos considerados. Las relaciones de armado mínimo longitudinal y transversal de estos elementos satisfacen también los requerimientos del ACI 318-11 en su Capítulo 21.

Los resultados del diseño de cada viga se presentan en los Anexos, a continuación se presenta un resumen de las secciones de vigas utilizadas en cada uno de los pórticos:

Pisos	Dimensiones	Armado
1-2	35x60	Sup. 3 ϕ 22mm (Ref.2 ϕ 25mm)
		Inf. 3 ϕ 22mm
		1 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
3-4	25x60	Sup. 3 ϕ 18mm (Ref.2 ϕ 22mm)
		Inf. 3 ϕ 18mm
		1 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm

Tabla 17 Vigas Utilizadas en el Pórtico de 4 Pisos

Pisos	Dimensiones	Armado
1-2-3	35x70	Sup. 4 ϕ 25mm (Ref.2 ϕ 25)
		Inf. 4 ϕ 25mm
		2 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
4-5-6	35x65	Sup. 3 ϕ 22mm (Ref.3 ϕ 25mm)
		Inf. 2 ϕ 22mm+1 ϕ 18mm (Ref.2 ϕ 18mm)
		1 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
7-8	25x60	Sup. 3 ϕ 18mm (Ref.2 ϕ 22mm)
		Inf. 3 ϕ 18mm
		1 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm

Tabla 18 Vigas Utilizadas en el Pórtico de 8 Pisos

Pisos	Dimensiones	Armado
1-2-3-4	50x70	Sup. 2 ϕ 28+2 ϕ 25mm (Ref.2 ϕ 28mm+1 ϕ 25mm)
		Inf. 2 ϕ 25+2 ϕ 22mm (Ref.3 ϕ 25mm)
		2 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
5-6-7	45x70	Sup. 2 ϕ 28+2 ϕ 25mm (Ref.3 ϕ 25mm)
		Inf. 4 ϕ 22mm (Ref.2 ϕ 25mm)
		2 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
8-9-10	35x65	Sup. 3 ϕ 25mm (Ref.2 ϕ 28mm)
		Inf. 3 ϕ 22mm (Ref.2 ϕ 20mm)
		1 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm
11-12	25x60	Sup. 2 ϕ 20+1 ϕ 18mm (Ref.2 ϕ 22mm)
		Inf. 2 ϕ 20+1 ϕ 18mm
		1 Est. ϕ 10mm c./100-150-100mm

Tabla 19 Vigas Utilizadas en el Pórtico de 12 Pisos

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DINÁMICO NO-LINEAL DE LOS PÓRTICOS SIN DISIPADORES Y CON DISIPADORES

7.1 Introducción

En el presente capítulo se desarrollarán análisis dinámicos no-lineales de los pórticos anteriormente definidos utilizando tres registros sísmicos que buscan caracterizar el riesgo sísmico de la ciudad de Guayaquil. Posteriormente se incorporarán dispositivos disipadores de energía tipo ADAS a los pórticos y se realizarán nuevos análisis dinámicos con el objetivo de comparar la respuesta de las estructuras sin disipadores y con disipadores. El programa utilizado para realizar los análisis mencionados es el software de elementos finitos OpenSees versión 2.4.3, un software de código abierto desarrollado por Frank McKenna, Michael Scott, Silvia Mazzoni, Gregory Fenves, entre otros, en la Universidad de Berkeley, el cual se ha desarrollado principalmente para realizar simulaciones de estructuras sometidas al efecto de sismos, ofreciendo una amplia gama de materiales, elementos y opciones para modelar los sistemas estructurales.

7.2 Descripción de los Modelos en OpenSees

Para el desarrollo de los análisis dinámicos no-lineales se procedió a realizar modelos en el software OpenSees de cada uno de los pórticos previamente diseñados.

El software permite la definición de los componentes del modelo estructural en diferentes niveles: a nivel de material constitutivo se consideraron los parámetros de los materiales utilizados (hormigón confinado, no confinado, acero de refuerzo, entre otros) mediante el comando `UniaxialMaterial` el cual permite representar la respuesta de esfuerzo-deformación de los mismos, ofreciendo una gran variedad de modelos de acuerdo al material que se quiera representar. A nivel seccional, para definir

el comportamiento inelástico de las secciones de hormigón armado se utilizó una sección tipo fibra, la cual permite una discretización de la sección transversal en sus diferentes componentes utilizando los materiales previamente definidos, para las secciones elásticas basta con definir los parámetros de área de la sección transversal, inercia y módulo de elasticidad.

A continuación se describen las definiciones del modelo a nivel de elementos:

Se utilizaron elementos denominados `beamWithHinges` para modelar las vigas y columnas de hormigón armado, los cuales consisten en elementos con plasticidad distribuida en una longitud determinada en los extremos de los mismos, mientras que en la región central se comporta de manera elástica. La longitud en los elementos en la cual se limita el comportamiento inelástico se tomó igual a la longitud de rótula plástica l_p según la ecuación de Corley y Mattock (1967):

$$l_p = 0.5d + 0.05z \quad (7.1)$$

Donde d es el peralte de la sección considerada y z es la distancia entre la sección crítica y el punto de inflexión, considerada como la mitad de la longitud del elemento.

En las regiones inelásticas se consideraron secciones tipo fibra, las cuales se encuentran conformadas por los distintos materiales que la componen, con las características y disposición geométrica de acuerdo al detallamiento realizado en el diseño de cada elemento estructural. Para el hormigón confinado y no confinado se utilizó el material denominado `Concrete04`, cuyos parámetros se obtuvieron de acuerdo al modelo de Mander (Mander, Priestley y Park, 1988); para el acero de refuerzo se utilizó el material `ReinforcingSteel`, con parámetros característicos de un acero A706 Gr.60, sin considerar pandeo, fatiga o endurecimiento isotrópico.

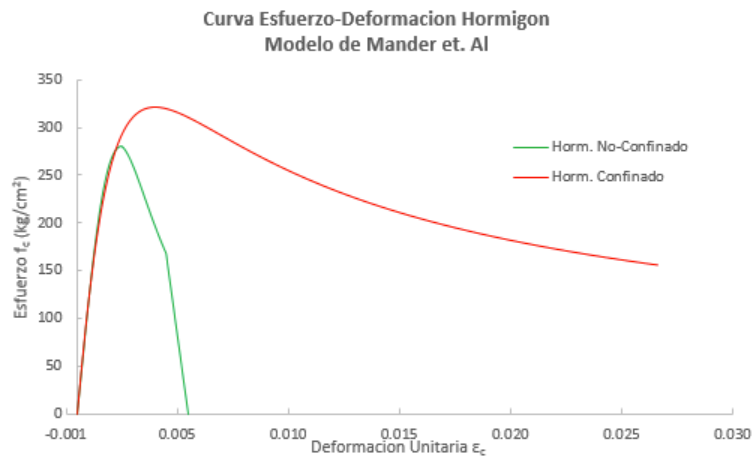


Figura 62 Curva Esfuerzo-Deformación del Hormigón Según el Modelo de Mander et al. (1988)

Para los modelos que incorporan los dispositivos ADAS, se consideró que los arriostramientos se comportaban de manera elástica, por lo cual se utilizaron elementos tipo Truss asignándoles un material elástico con módulo de elasticidad igual al módulo de elasticidad del acero ($E = 2\,030\,000 \text{ kg/cm}^2$) y un área determinada de acuerdo a su geometría, mientras que los dispositivos ADAS fueron modelados como zeroLength Elements en el sentido global X, los cuales permiten definir el comportamiento fuerza-desplazamiento de un elemento entre dos nodos ubicados en las mismas coordenadas, a estos elementos se les asignó el material denominado Steel02, con parámetros que definen la curva fuerza-desplazamiento del dispositivo de acuerdo a las ecuaciones proporcionadas por Whittaker presentadas en el capítulo 5.

Una vez definidas las características geométricas del modelo y sus elementos, se aplicó la carga gravitacional, la cual consiste en las cargas muerta adicional y viva determinadas en el capítulo anterior, éstas fueron aplicadas como cargas uniformemente distribuidas en las vigas de cada piso, se consideró además el peso propio de la estructura la cual se consideró uniformemente distribuidas en todos los elementos. Se realizó un análisis de

tipo estático para el efecto y se fijó el estado de la estructura luego de aplicada esta carga como punto de partida para el análisis sísmico.

Para la aplicación de la carga dinámica debido a los sismos se asignaron masas a los nodos las cuales consisten en masas en el sentido horizontal (sentido X) igual a las aportaciones de las cargas muerta más el 25% de la carga viva tributaria a cada nodo, además se asignaron masas despreciables con magnitud igual a $10^{-6} \text{ kgf} - \text{s}^2/\text{cm}$ en el sentido vertical y rotacional. El amortiguamiento viscoso fue definido utilizando el comando Rayleigh, con el cual se asignó amortiguamiento de Rayleigh (que considera dependencia tanto de la masa como de la rigidez) considerando un 5% de amortiguamiento en el primer y tercer modo de vibración de cada sistema estructural.

7.3 Descripción de los Sismos Utilizados

Para el análisis dinámico no-lineal, en cada modelo se utilizaron tres acelerogramas que buscan caracterizar el riesgo sísmico de la ciudad de Guayaquil y serán descritos a continuación:

7.3.1 Registro El Centenario 1993

El primer acelerograma consiste en el registro sísmico realizado en la Estación Centenario – Guayaquil, el 26 de abril de 1993, dirección Norte-Sur, facilitado por el Ingeniero Xavier Casal, el cual trabajó previamente con este registro en un trabajo de grado anterior, éste posee 3024 entradas de datos con intervalos de tiempo de 0.01 segundos, por lo tanto la duración del registro es de 30.24 segundos, sin embargo se consideró una duración total de 34.25 segundos para el análisis dinámico. El registro original poseía un PGA de 0.1099g, por lo que fue escalado a un PGA de 0.456g para caracterizar el riesgo sísmico con probabilidad de excedencia del 10% en 50 años (sismo de diseño) en la ciudad de Guayaquil.

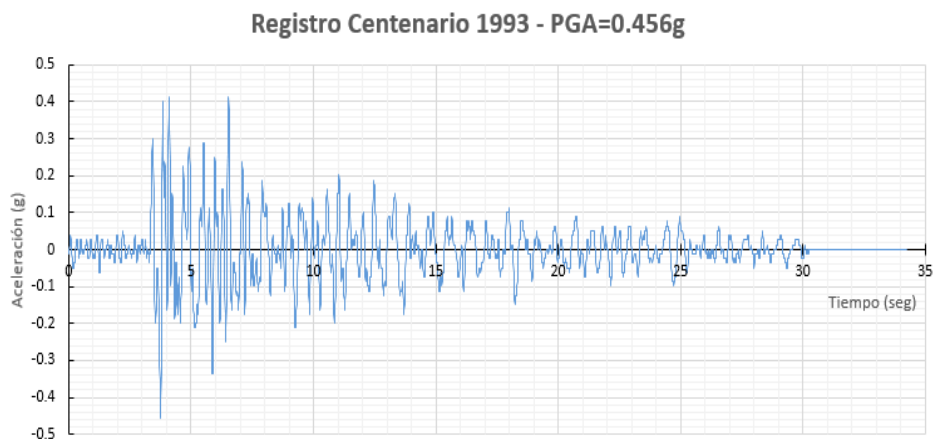


Figura 63 Acelerograma Estación Centenario, Guayaquil – 1993 - Dirección Norte-Sur, PGA=0.456g

7.3.2 Registro SG1

El segundo acelerograma consiste en un sismo sintético, obtenido por el software de libre distribución SIMQKE (Gelfi, 2012) de la Universidad de Brescia, Italia, el cual posee un PGA de 0.456g (para caracterizar el riesgo sísmico con probabilidad de excedencia del 10% en 50 años en la ciudad de Guayaquil) y una duración de 30.00 segundos, con intervalos de tiempo de 0.01 segundos, sin embargo se consideró una duración total de 34.25 segundos para efectos del análisis dinámico.

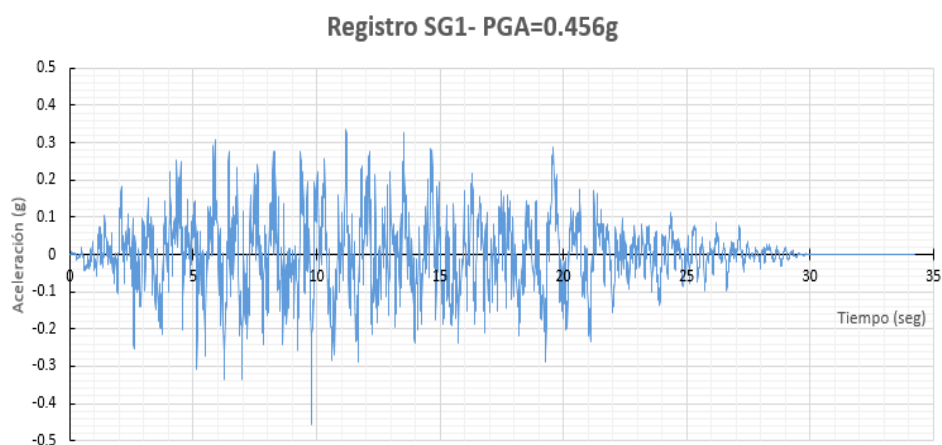


Figura 64 Acelerograma Sintético SG1, PGA=0.456g

7.3.3 Registro SG2

El tercer acelerograma consiste en la adaptación del registro del sismo de México, registrado el 19 de septiembre de 1985 en la estación SCT, dirección Este-Oeste, de la ciudad de México, en la adaptación se redujo el intervalo de tiempo a la mitad, logrando que el valor de aceleración espectral máxima del registro pase de corresponder a un periodo de aproximadamente 2.00 segundos a un periodo de 1.00 segundos, además se escaló el sismo de un PGA de 0.1632g a un PGA de 0.20g para caracterizar el riesgo sísmico con probabilidad de excedencia del 10% en 50 años en la ciudad de Guayaquil. La duración del sismo modificado es de 50.00 segundos con un intervalo de tiempo de 0.02 segundos, sin embargo para efectos del análisis dinámico se consideró una duración total de 60.00 segundos.

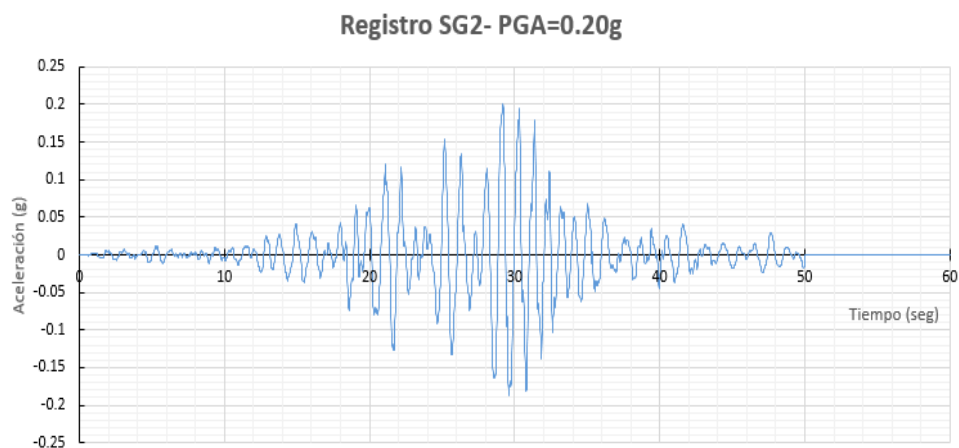


Figura 65 Acelerograma SG2, PGA=0.20g

7.3.4 Resumen de Sismos Utilizados

A continuación, a manera de resumen se presentan los espectros de respuesta de aceleración de los tres sismos considerados, con un amortiguamiento del 5%. Esto permite visualizar mejor las características dinámicas de los mismos y hasta cierto punto predecir la posible respuesta de diversas estructuras a medida que sus parámetros varíen.

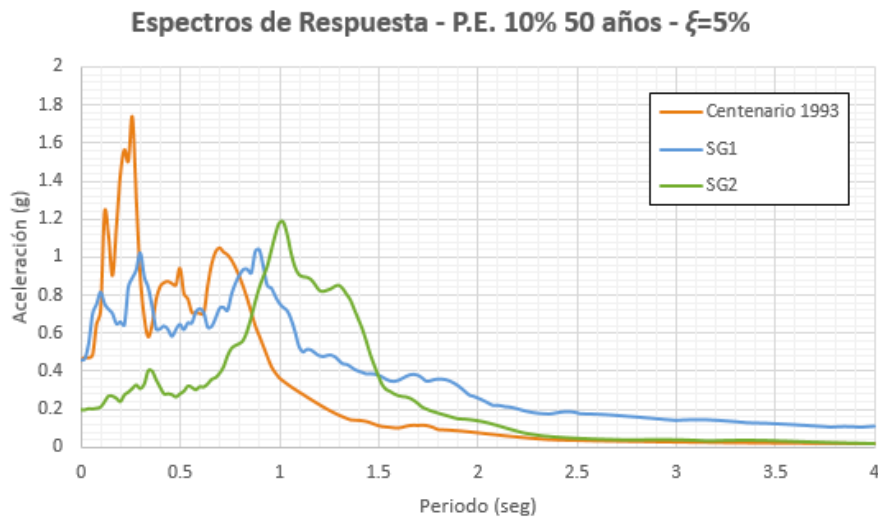


Figura 66 Espectros de Respuesta de Aceleración de los Tres Sismos Considerados – $\zeta=5\%$

7.4 Descripción de los Pórticos con Disipadores

A partir de los resultados obtenidos de los análisis dinámicos no-lineales en cada uno de los pórticos considerados y para cada uno de los sismos utilizados, se procedió a realizar un diseño unificado de los disipadores para cada tipo de pórtico, es decir, se realizó un único diseño de disipadores para el pórtico de 4 pisos, otro para el de 8 pisos y finalmente uno para el de 12 pisos. Los disipadores se colocaron como arriostramientos tipo Chevron, con los dispositivos colocados entre la intersección de los arriostramientos y la parte inferior de la viga de piso, de manera que existan dos por cada piso, en la segunda y cuarta luz respectivamente. Los resultados de los análisis dinámicos de cada pórtico, tanto con disipadores como sin disipadores se realizarán de manera comparativa en la sección siguiente. En esta sección se presentan, con la ayuda de tablas, las características de los sistemas arriostramiento-disipador incorporados a cada pórtico. Los parámetros de los disipadores: N, b, t, h representan las características geométricas de los mismos, respectivamente número de disipadores, ancho máximo de la sección, espesor de la placa y longitud efectiva de la placa, tal como se definieron en el capítulo 5, mientras que P_y, K y Δ_y representan las características mecánicas de los disipadores, fuerza de fluencia, rigidez y

desplazamiento de fluencia respectivamente. Los parámetros en los arriostramientos se basan en la premisa que los arriostramientos que se utilizarán son tubulares cuadrados, por lo tanto b es la dimensión exterior del tubo, t el espesor y A el área de la sección transversal.

		Disipadores				Arriostramientos	
Piso 1	N	12	P_y	18144.00 kgf	b	200 mm	
	b	200 mm	K	70156.80 kgf/cm	t	12 mm	
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	90.24 cm ²	
	h	250 mm					
Pisos 2-3-4	N	10	P_y	15120.00 kgf	b	150 mm	
	b	200 mm	K	58464.00 kgf/cm	t	12 mm	
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	66.24 cm ²	
	h	250 mm					

Tabla 20 Características de los Disipadores – Pórtico de 4 Pisos

		Disipadores				Arriostramientos	
Piso 1	N	15	P_y	22680.00 kgf	b	200 mm	
	b	200 mm	K	87696.00 kgf/cm	t	12 mm	
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	90.24 cm ²	
	h	250 mm					
Pisos 2-3	N	15	P_y	22680.00 kgf	b	150 mm	
	b	200 mm	K	87696.00 kgf/cm	t	12 mm	
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	66.24 cm ²	
	h	250 mm					
Pisos 4-5-6	N	12	P_y	18144.00 kgf	b	150 mm	
	b	200 mm	K	70156.80 kgf/cm	t	12 mm	
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	66.24 cm ²	
	h	250 mm					
Pisos 7-8	N	10	P_y	15120.00 kgf	b	150 mm	
	b	200 mm	K	58464.00 kgf/cm	t	12 mm	
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	66.24 cm ²	
	h	250 mm					

Tabla 21 Característica de los Disipadores – Pórtico de 8 Pisos

	Disipadores				Arriostramientos	
	N		P_y		b	
Piso 1	N	17	P_y	25704.00 kgf	b	200 mm
	b	200 mm	K	99388.80 kgf/cm	t	12 mm
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	90.24 cm ²
	h	250 mm				
Pisos 2-3-4	N	17	P_y	25704.00 kgf	b	150 mm
	b	200 mm	K	99388.80 kgf/cm	t	12 mm
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	66.24 cm ²
	h	250 mm				
Pisos 5-6-7	N	15	P_y	22680.00 kgf	b	150 mm
	b	200 mm	K	87696.00 kgf/cm	t	12 mm
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	66.24 cm ²
	h	250 mm				
Pisos 8-9-10	N	15	P_y	22680.00 kgf	b	150 mm
	b	200 mm	K	87696.00 kgf/cm	t	12 mm
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	66.24 cm ²
	h	250 mm				
Pisos 11-12	N	12	P_y	18144.00 kgf	b	150 mm
	b	200 mm	K	70156.80 kgf/cm	t	12 mm
	t	15 mm	Δ_y	0.26 cm	A	66.24 cm ²
	h	250 mm				

Tabla 22 Característica de los Disipadores – Pórtico de 12 Pisos

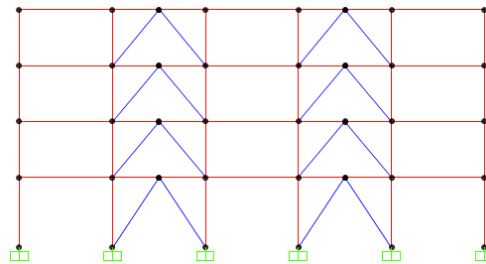


Figura 67 Esquema del Pórtico de 4 Pisos con Disipadores

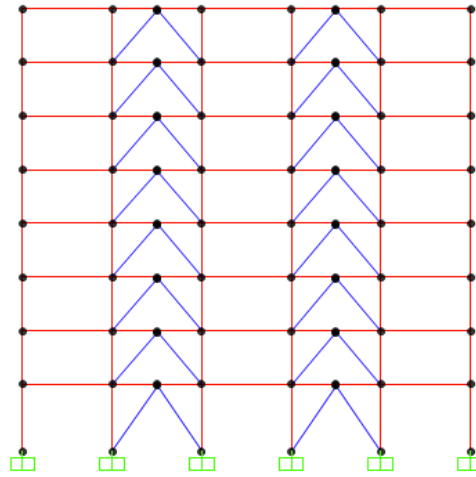


Figura 68 Esquema del Pórtico de 8 Pisos con Disipadores

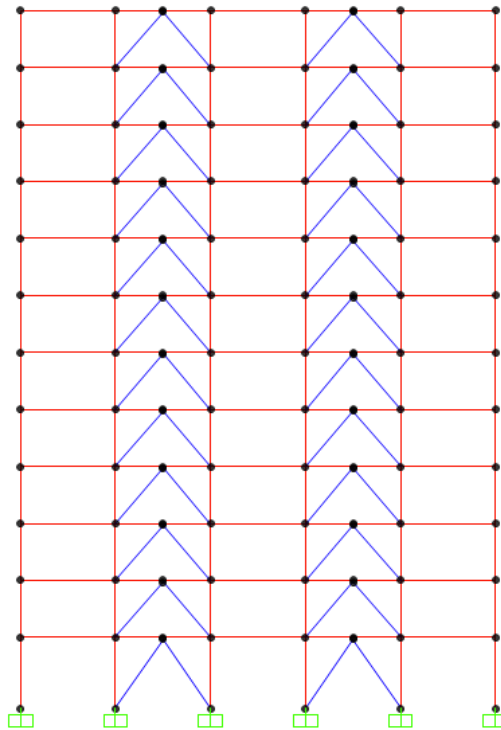


Figura 69 Esquema del Pórtico de 12 Pisos con Disipadores

7.5 Resultados de los Análisis Dinámicos del Pórtico de 4 Pisos

En las siguientes secciones se presentarán los resultados de los análisis dinámicos de cada uno de los pórticos, con disipadores y sin disipadores, para los tres sismos considerados. Los parámetros elegidos para realizar las comparaciones entre el desempeño de los sistemas sin disipadores y con disipadores son los desplazamientos laterales, derivas y respuesta energética. Además se presentan las gráficas de histéresis de los disipadores por cada piso.

7.5.1 Derivas de Piso

A continuación se presentan los resultados de comparación de las derivas de piso del pórtico de 4 pisos sin disipadores y con disipadores. Las derivas de piso son un parámetro importante de comparación, ya que reflejan el nivel de daño que puede llegar a producirse en las columnas de cada piso. Se presentan tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. Se observa una reducción notable en las derivas de piso para los tres sismos con reducciones de hasta el 70% en las derivas.

Pisos	Deriva (%)						
	Cent 1993						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS		
4	0.71%	-0.36%	0.71%	0.21%	-0.20%	0.21%	70%
3	1.03%	-0.69%	1.03%	0.52%	-0.46%	0.52%	50%
2	0.59%	-0.65%	0.65%	0.55%	-0.49%	0.55%	15%
1	0.42%	-0.72%	0.72%	0.59%	-0.63%	0.63%	13%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 23 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993

Pisos	Deriva (%)						
	SG1						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS		
4	0.72%	-0.52%	0.72%	0.31%	-0.30%	0.31%	57%
3	1.08%	-1.10%	1.10%	0.64%	-0.59%	0.64%	42%
2	1.06%	-0.96%	1.06%	0.82%	-0.74%	0.82%	23%
1	1.67%	-2.02%	2.02%	0.80%	-1.01%	1.01%	50%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 24 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1

Pisos	Deriva (%)						REDUCCIÓN
	SG2						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
4	0.68%	-0.51%	0.68%	0.42%	-0.29%	0.42%	38%
3	1.28%	-1.02%	1.28%	0.81%	-0.74%	0.81%	37%
2	1.31%	-0.95%	1.31%	0.98%	-0.88%	0.98%	25%
1	1.86%	-1.72%	1.86%	1.08%	-1.36%	1.36%	27%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 25 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2

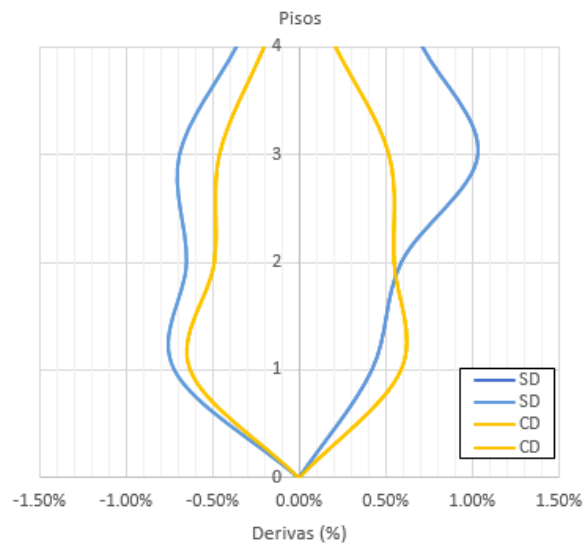


Figura 70 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993

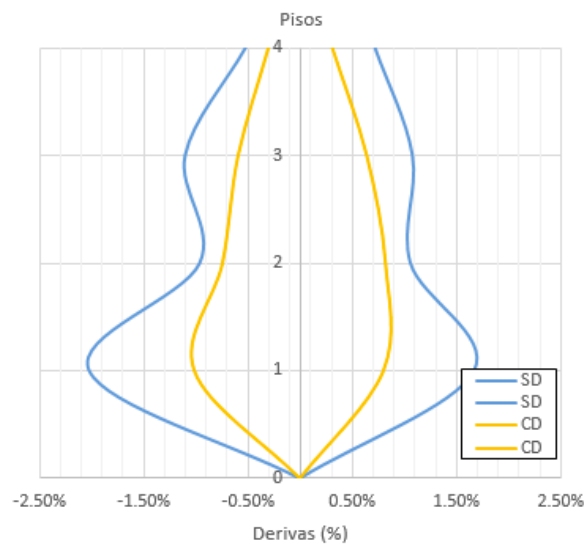


Figura 71 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1

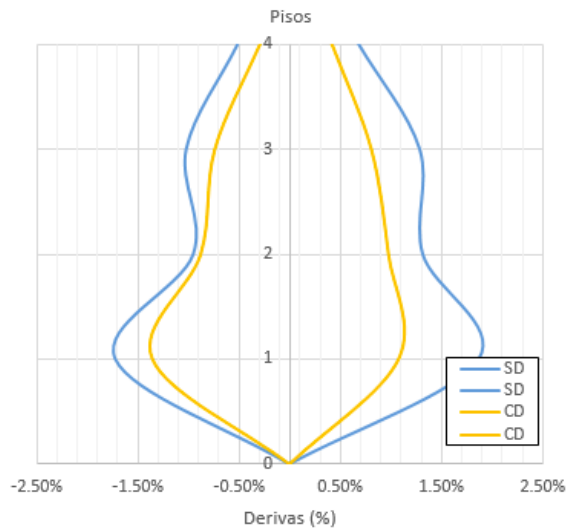


Figura 72 Derivas de Piso Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2

7.5.2 Desplazamientos Máximos

A continuación se presentan los resultados de comparación de los desplazamientos máximos del pórtico de 4 pisos sin disipadores y con disipadores por medio de tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. Se observan reducciones moderadas en los desplazamientos máximos que llegan hasta valores del 50% de reducción.

Pisos	Desplazamiento (cm)						REDUCCIÓN
	Cent 1993						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
4	8.87	-8.77	8.87	6.27	-6.58	6.58	26%
3	6.53	-7.67	7.67	5.82	-5.93	5.93	23%
2	3.70	-5.41	5.41	4.59	-4.50	4.59	15%
1	1.87	-3.23	3.23	2.63	-2.84	2.84	12%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%

Tabla 26 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993

Pisos	Desplazamiento (cm)						
	SG1						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
4	16.73	-17.35	17.35	9.71	-10.12	10.12	42%
3	14.79	-15.87	15.87	8.70	-9.24	9.24	42%
2	11.23	-12.48	12.48	6.51	-7.16	7.16	43%
1	7.52	-9.11	9.11	3.62	-4.53	4.53	50%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%

Tabla 27 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1

Pisos	Desplazamiento (cm)						
	SG2						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
4	19.96	-16.13	19.96	12.30	-12.82	12.82	36%
3	17.50	-14.57	17.50	11.10	-11.79	11.79	33%
2	12.96	-11.16	12.96	8.38	-9.16	9.16	29%
1	8.37	-7.75	8.37	4.88	-6.10	6.10	27%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%

Tabla 28 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2

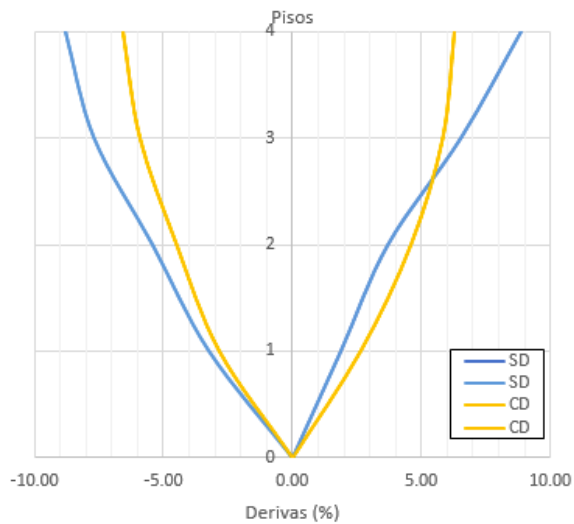


Figura 73 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993

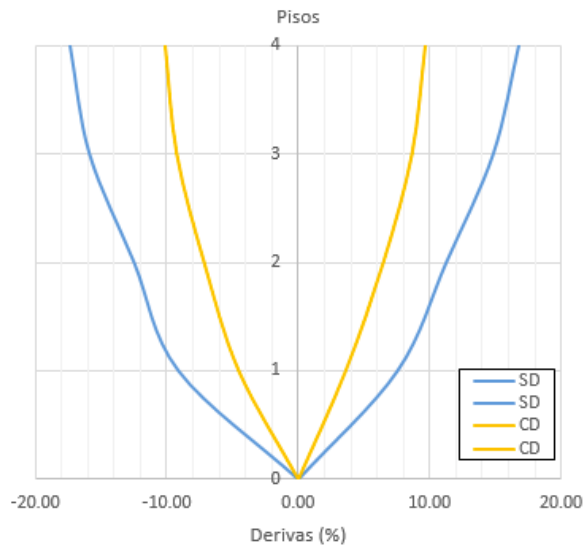


Figura 74 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1

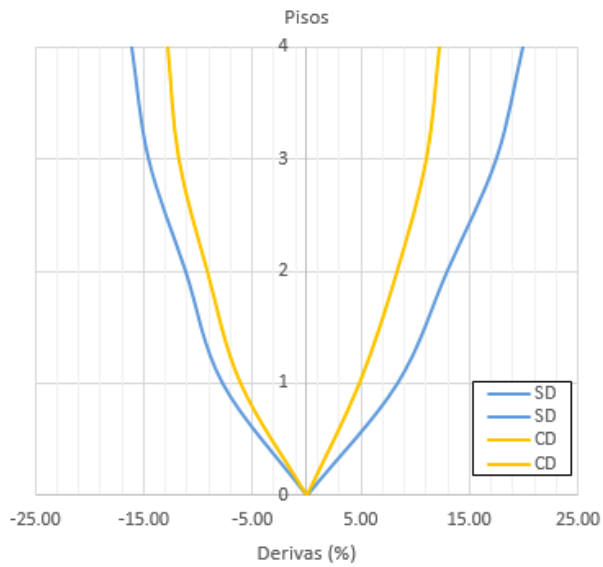


Figura 75 Desplazamientos Máximos Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2

7.5.3 Respuesta Energética

A continuación se presentan los resultados de comparación de la respuesta energética del pórtico de 4 pisos sin disipadores y con disipadores por medio de tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. El valor de mayor importancia en el estudio es la respuesta de energía histerética al final del sismo que representa la energía disipada por inelasticidad en toda la estructura, la cual está

íntimamente ligada al daño en los elementos estructurales. Se observa que porcentualmente la aplicación de disipadores resultó más efectiva para el sismo SG1, con un 90.75% de reducción, reduciéndola prácticamente al 10% del valor de respuesta histerética del sistema sin disipadores.

		Energía al Final del Sismo - 4 Pisos						
		Energía de Amortig.		Energía Histerética		Energía Disipador ADAS		Energía Entrada
		Ton-m	%	Ton-m	%	Ton-m	%	Ton-m
Cent 1993	SIN DISIPADORES	14.51	81.55%	3.28	18.45%	-	-	17.79
	CON DISIPADORES	25.70	34.97%	0.90	1.23%	46.92	63.85%	73.48
	REDUCCIÓN (%)	-77.10%		72.52%		-		-312.95%
SG1	SIN DISIPADORES	42.88	54.41%	35.91	45.58%	-	-	78.80
	CON DISIPADORES	35.46	31.40%	3.32	2.94%	74.14	65.66%	112.93
	REDUCCIÓN (%)	17.30%		90.75%		-		-43.31%
SG2	SIN DISIPADORES	54.50	56.66%	41.69	43.34%	-	-	96.18
	CON DISIPADORES	27.91	31.27%	10.16	11.38%	51.19	57.35%	89.25
	REDUCCIÓN (%)	48.79%		75.64%		-		7.21%

Tabla 29 Respuesta Energética Global del Sistema de 4 Pisos Sin Disipadores y Con Disipadores

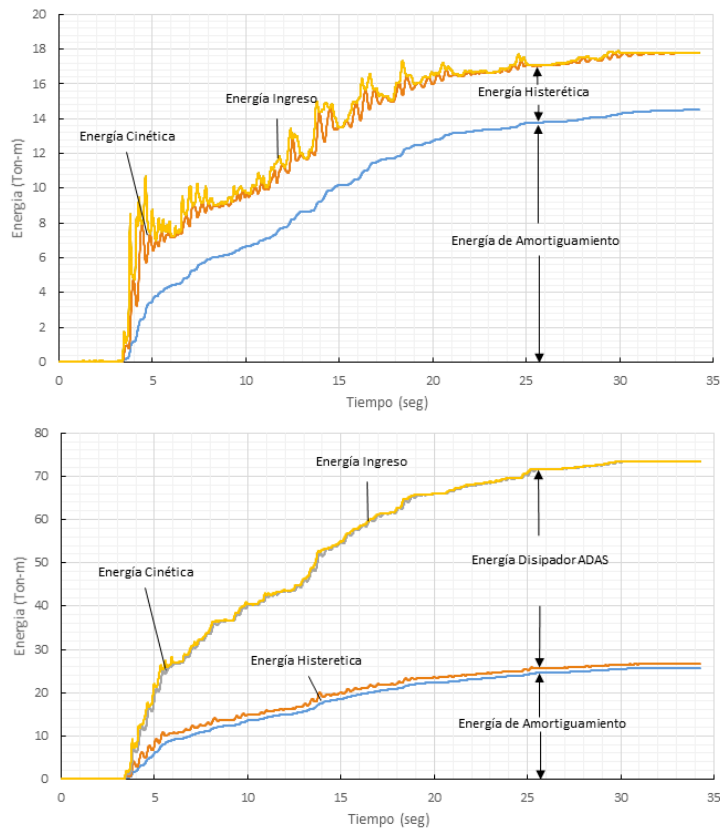


Figura 76 Respuesta Energética Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.

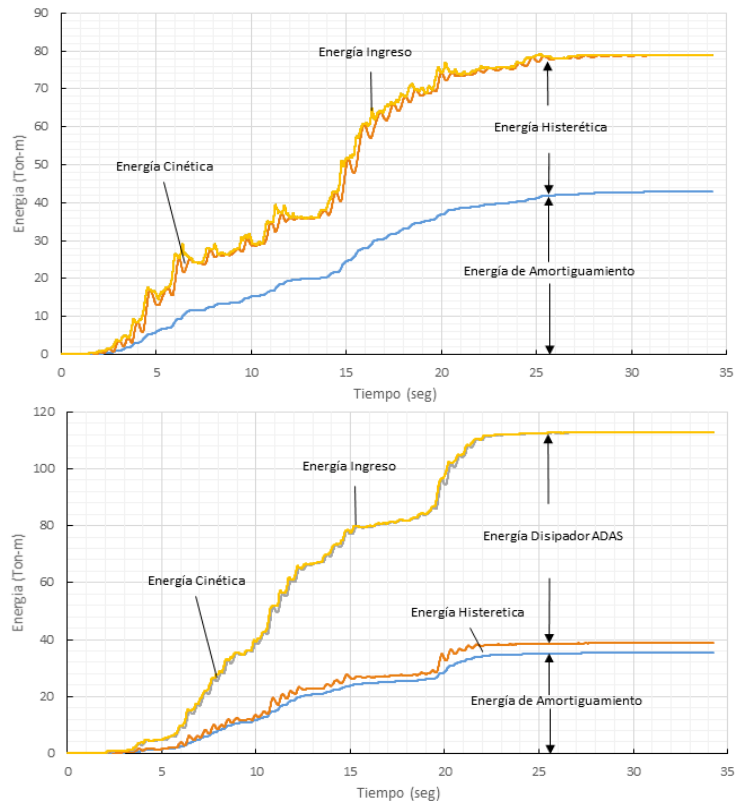


Figura 77 Respuesta Energética Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.

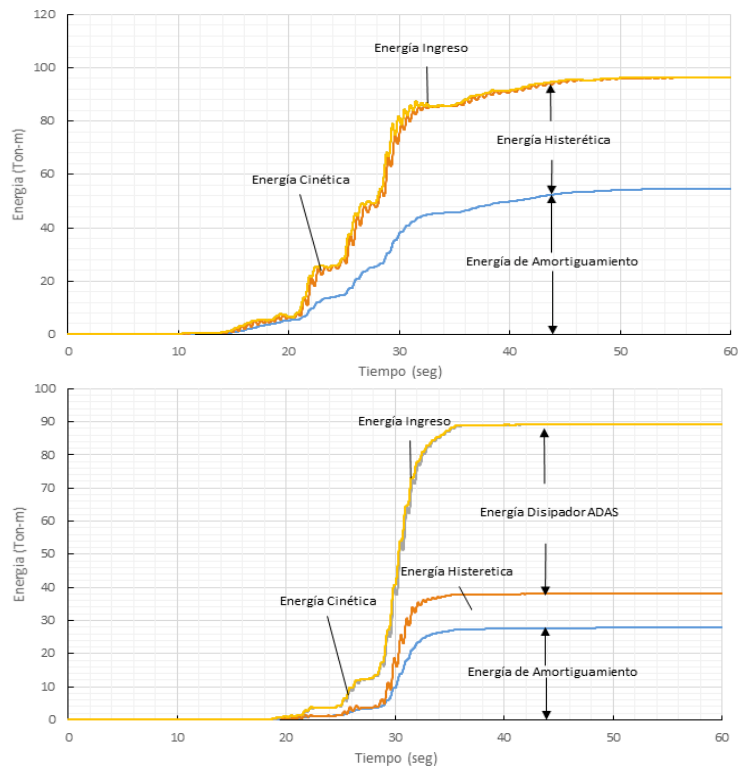


Figura 78 Respuesta Energética Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.

7.5.5 Histéresis de los Disipadores ADAS

Finalmente se presenta de manera gráfica las curvas histeréticas de los disipadores ADAS en cada piso para el sismo El Centenario 1993, en las cuales se puede observar que cumplen con los parámetros descritos anteriormente en el diseño de los disipadores. Se observa además las deformaciones máximas en los mismos, si bien algunos autores recomiendan un rango entre 6 a 8 veces el desplazamiento de fluencia (Xia y Hanson, 1992), otros autores como Aiken et al. (1993) describen que un disipador de este tipo puede ser diseñado de manera segura para desplazamientos de orden de 10 veces el desplazamiento de fluencia. Las curvas de histéresis de los dispositivos para los demás sismos se presentan en los Anexos.

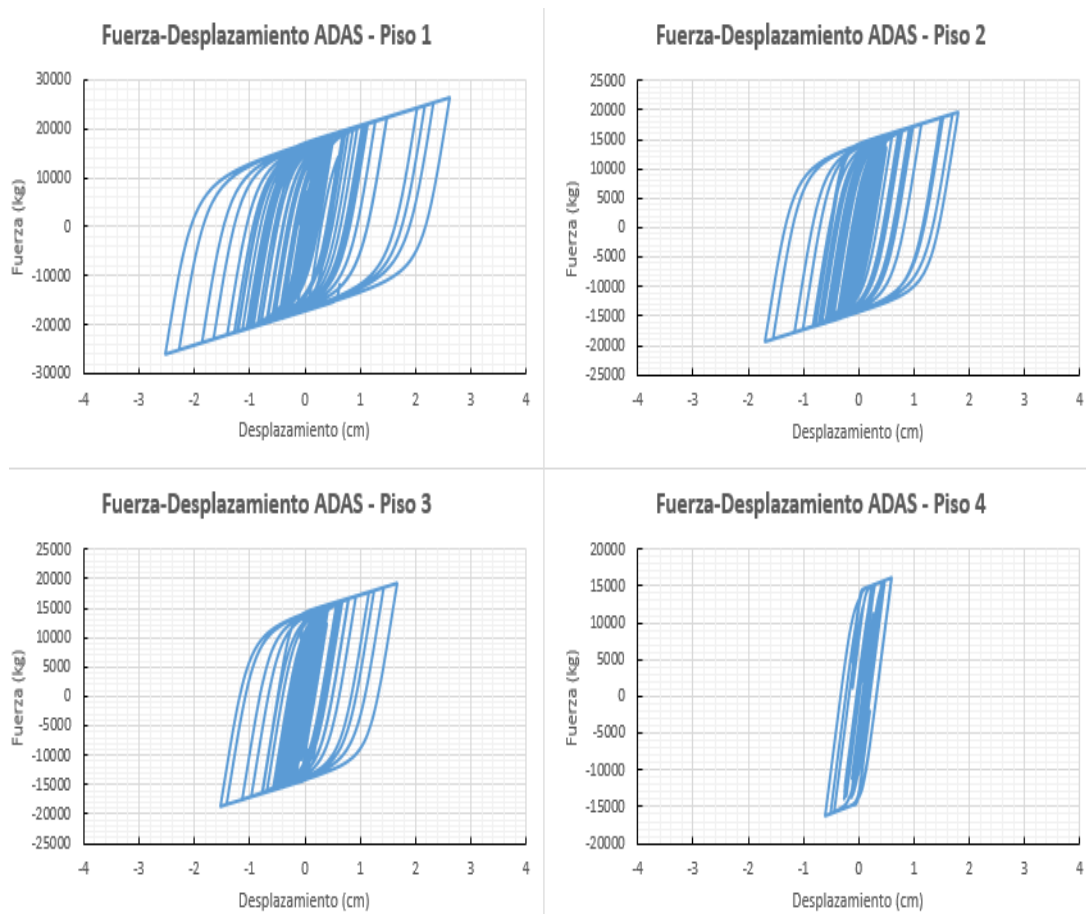


Figura 79 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 4 Pisos – Sismo El Centenario 1993

7.6 Resultados de los Análisis Dinámicos del Pórtico de 8 Pisos

7.6.1 Derivas de Piso

A continuación se presentan los resultados de comparación de las derivas de piso del pórtico de 8 pisos sin disipadores y con disipadores. Las derivas de piso son un parámetro importante de comparación ya que reflejan el nivel de daño que puede llegar a producirse en las columnas de cada piso. Se presentan tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. Se observa una reducción notable en las derivas de piso para los dos primeros sismos (Centenario y SG1) con reducciones de hasta el 77% en las derivas, mientras que el sismo SG2 presenta un incremento notable en las derivas de los pisos inferiores, mientras que en los pisos superiores se reduce de manera considerable también.

Pisos	Deriva (%)						
	Cent 1993						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS		
8	0.79%	-0.38%	0.79%	0.18%	-0.16%	0.18%	77%
7	0.89%	-0.54%	0.89%	0.30%	-0.33%	0.33%	63%
6	0.64%	-0.41%	0.64%	0.37%	-0.32%	0.37%	42%
5	0.53%	-0.46%	0.53%	0.52%	-0.36%	0.52%	2%
4	0.36%	-0.36%	0.36%	0.50%	-0.35%	0.50%	-39%
3	0.33%	-0.23%	0.33%	0.36%	-0.32%	0.36%	-9%
2	0.35%	-0.30%	0.35%	0.33%	-0.32%	0.33%	6%
1	0.26%	-0.34%	0.34%	0.24%	-0.26%	0.26%	24%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0%

Tabla 30 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993

Pisos	Deriva (%)						
	SG1						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS		
8	0.48%	-0.66%	0.66%	0.22%	-0.24%	0.24%	64%
7	0.57%	-1.12%	1.12%	0.34%	-0.46%	0.46%	59%
6	0.71%	-1.00%	1.00%	0.39%	-0.46%	0.46%	54%
5	0.91%	-1.09%	1.09%	0.53%	-0.60%	0.60%	45%
4	0.94%	-1.05%	1.05%	0.61%	-0.67%	0.67%	36%
3	0.93%	-0.77%	0.93%	0.56%	-0.55%	0.56%	40%
2	1.01%	-0.75%	1.01%	0.57%	-0.62%	0.62%	39%
1	0.80%	-0.71%	0.80%	0.43%	-0.64%	0.64%	20%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0%

Tabla 31 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1

Pisos	Deriva (%)						REDUCCIÓN
	SG2						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
8	0.62%	-0.44%	0.62%	0.28%	-0.26%	0.28%	55%
7	0.81%	-0.76%	0.81%	0.45%	-0.52%	0.52%	36%
6	0.97%	-0.74%	0.97%	0.57%	-0.55%	0.57%	41%
5	1.26%	-0.85%	1.26%	0.77%	-0.80%	0.80%	36%
4	1.08%	-0.86%	1.08%	0.81%	-1.00%	1.00%	7%
3	0.76%	-0.65%	0.76%	0.71%	-0.89%	0.89%	-17%
2	0.63%	-0.60%	0.63%	0.70%	-0.95%	0.95%	-51%
1	0.38%	-0.52%	0.52%	0.57%	-0.97%	0.97%	-87%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0%

Tabla 32 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2

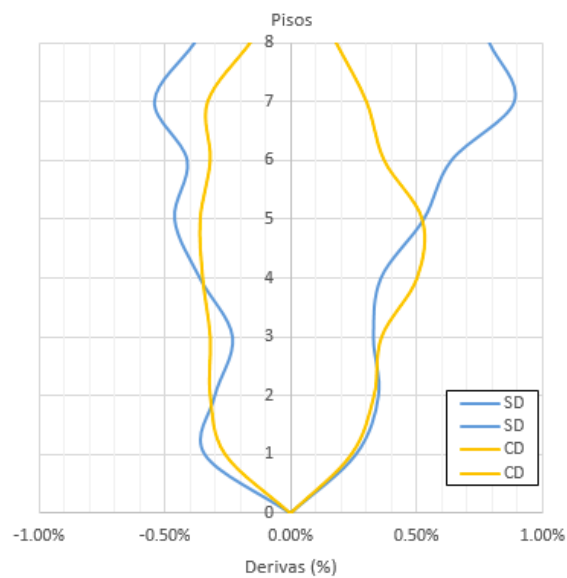


Figura 80 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993

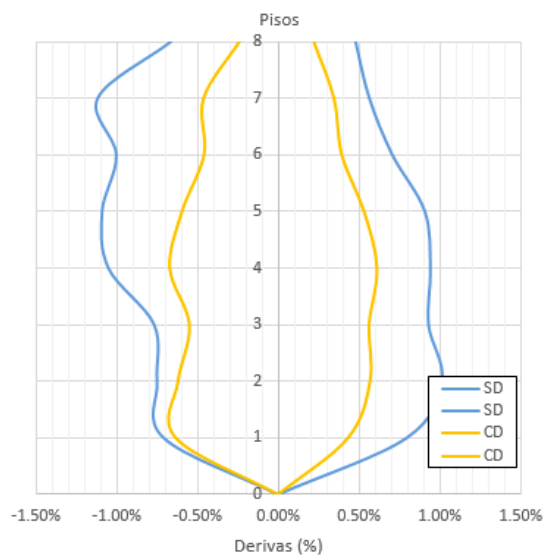


Figura 81 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1

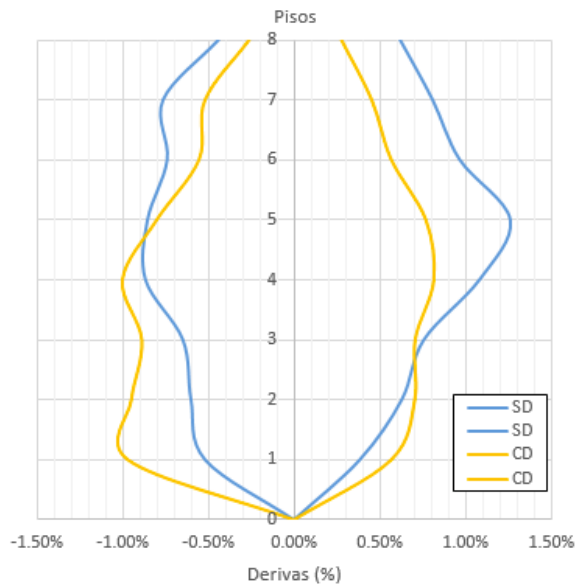


Figura 82 Derivas de Piso Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2

7.6.2 Desplazamientos Máximos

A continuación se presentan los resultados de comparación de los desplazamientos máximos del pórtico de 8 pisos sin disipadores y con disipadores por medio de tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. En rasgos generales, los resultados se presentan favorables para los dos primeros sismos, siendo más notable el beneficio en el sismo SG1, sin embargo se observa que para el sismo SG2 los desplazamientos máximos absolutos aumentan con la incorporación de disipadores.

Pisos	Desplazamiento (cm)							REDUCCIÓN
	Cent 1993							
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES				
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS		
8	12.40	-8.42	12.40	8.06	-8.42	8.42	32%	
7	9.97	-7.26	9.97	7.69	-7.84	7.84	21%	
6	7.26	-5.47	7.26	7.09	-6.68	7.09	2%	
5	5.42	-4.61	5.42	6.17	-5.67	6.17	-14%	
4	4.21	-4.01	4.21	4.60	-4.67	4.67	-11%	
3	3.38	-3.33	3.38	3.26	-3.43	3.43	-2%	
2	2.35	-2.62	2.62	2.19	-2.29	2.29	12%	
1	1.18	-1.53	1.53	1.08	-1.17	1.17	23%	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	

Tabla 33 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993

Pisos	Desplazamiento (cm)							REDUCCIÓN
	SG1							
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES				
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS		
8	22.91	-23.32	23.32	12.48	-15.24	15.24	35%	
7	21.39	-21.24	21.39	11.99	-14.46	14.46	32%	
6	19.36	-17.88	19.36	11.20	-12.88	12.88	33%	
5	16.83	-14.96	16.83	9.97	-11.31	11.31	33%	
4	13.71	-11.60	13.71	8.15	-9.27	9.27	32%	
3	10.55	-8.35	10.55	5.97	-6.96	6.96	34%	
2	7.24	-5.81	7.24	3.96	-5.09	5.09	30%	
1	3.59	-3.19	3.59	1.94	-2.87	2.87	20%	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	

Tabla 34 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1

Pisos	Desplazamiento (cm)							REDUCCIÓN
	SG2							
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES				
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS		
8	23.02	-18.24	23.02	17.24	-21.98	21.98	5%	
7	20.86	-16.93	20.86	16.35	-21.04	21.04	-1%	
6	17.97	-14.73	17.97	14.89	-19.17	19.17	-7%	
5	14.57	-12.51	14.57	12.91	-17.20	17.20	-18%	
4	10.27	-9.72	10.27	10.19	-14.39	14.39	-40%	
3	6.64	-6.75	6.75	7.40	-10.90	10.90	-62%	
2	3.96	-4.47	4.47	5.07	-7.78	7.78	-74%	
1	1.73	-2.33	2.33	2.55	-4.36	4.36	-87%	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	

Tabla 35 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2

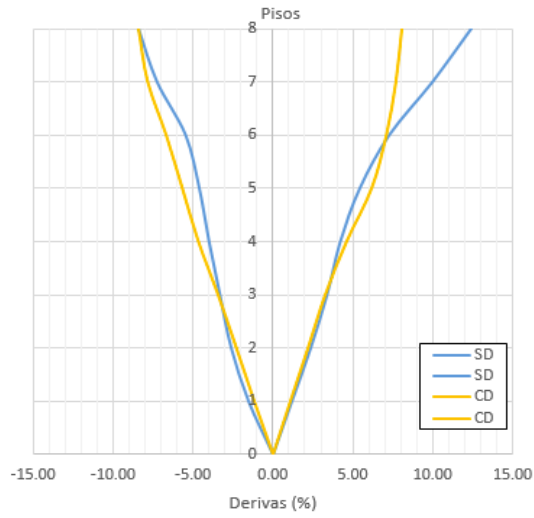


Figura 83 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993

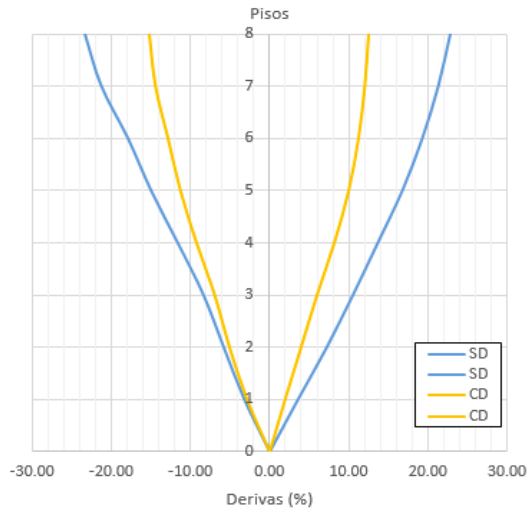


Figura 84 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1

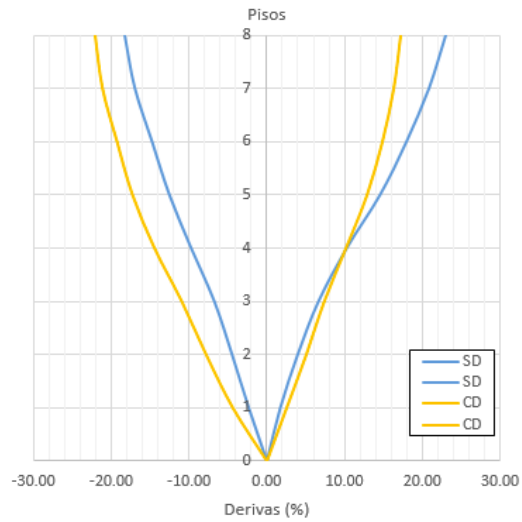


Figura 85 Desplazamientos Máximos Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2

7.6.3 Respuesta Energética

A continuación se presentan los resultados de comparación de la respuesta energética del pórtico de 8 pisos sin disipadores y con disipadores por medio de tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. Se observa que porcentualmente, en términos relativos la aplicación de disipadores resultó más efectiva para el sismo Centenario 1993, para el cual la respuesta con disipadores es prácticamente elástica, sin embargo en términos generales el sismo SG1 reduce la respuesta de un sistema que sin disipadores abarcaba 61.34 *Ton – m*, a solo 6.48 *Ton – m* cuando se incorporan los disipadores. Para el sismo SG2 la mejora no es tan notable pasando de 38.62 *Ton – m* sin disipadores a 26.44 *Ton – m* con disipadores.

		Energía al Final del Sismo - 8 Pisos						
		Energía de Amortig.		Energía Histerética		Energía Disipador ADAS		Energía Entrada
		Ton-m	%	Ton-m	%	Ton-m	%	Ton-m
Cent 1993	SIN DISIPADORES	33.83	82.29%	7.28	17.71%	-	-	41.11
	CON DISIPADORES	37.44	51.11%	0.12	0.16%	35.69	48.72%	73.26
	REDUCCIÓN (%)	-10.67%		98.37%		-		-78.18%
SG1	SIN DISIPADORES	84.54	57.94%	61.34	42.04%	-	-	145.91
	CON DISIPADORES	82.66	41.40%	6.48	3.24%	110.52	55.36%	199.66
	REDUCCIÓN (%)	2.23%		89.44%		-		-36.83%
SG2	SIN DISIPADORES	75.40	66.12%	38.62	33.87%	-	-	114.02
	CON DISIPADORES	103.16	41.09%	26.44	10.53%	121.49	48.38%	251.09
	REDUCCIÓN (%)	-36.83%		31.54%		-		-120.21%

Tabla 36 Respuesta Energética Global del Sistema de 8 Pisos Sin Disipadores y Con Disipadores

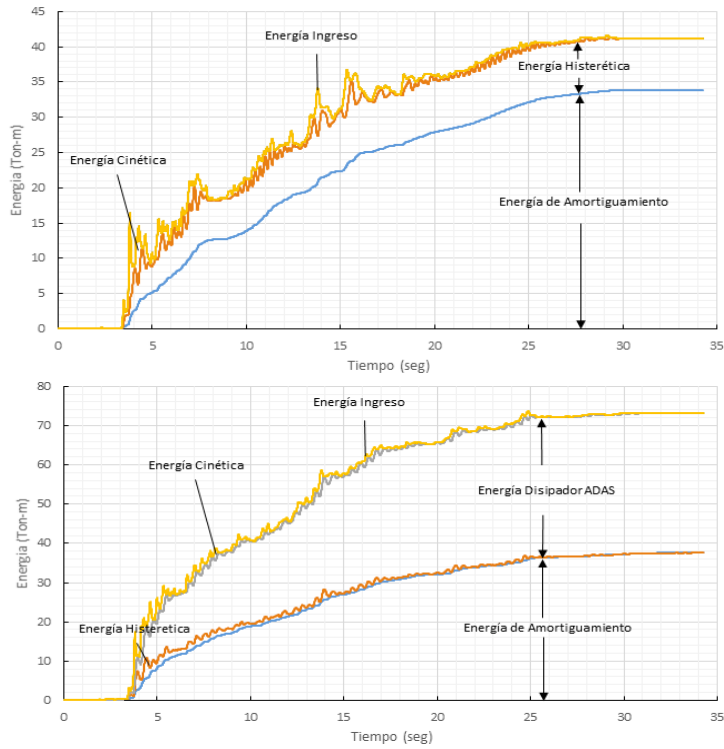


Figura 86 Respuesta Energética Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.

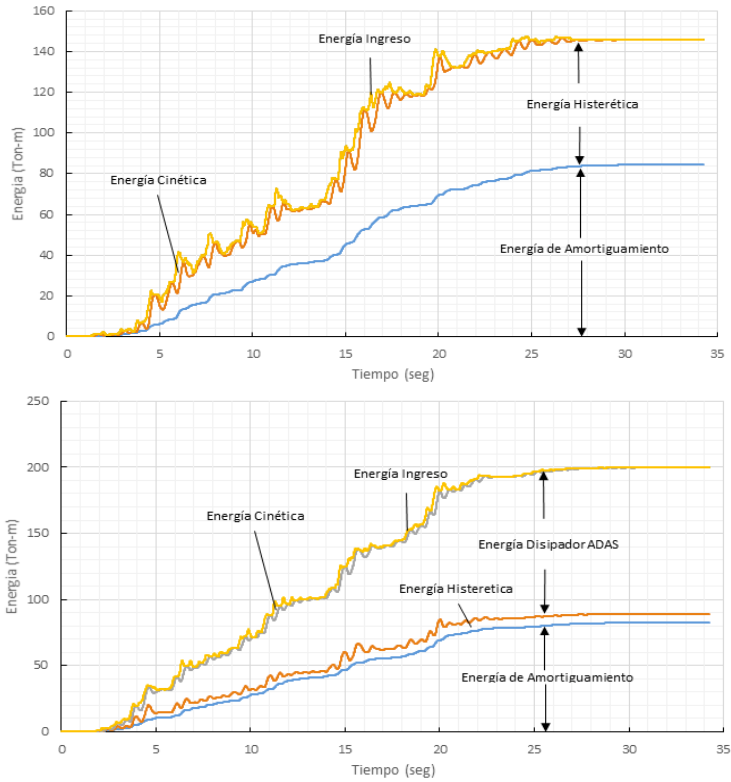


Figura 87 Respuesta Energética Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.

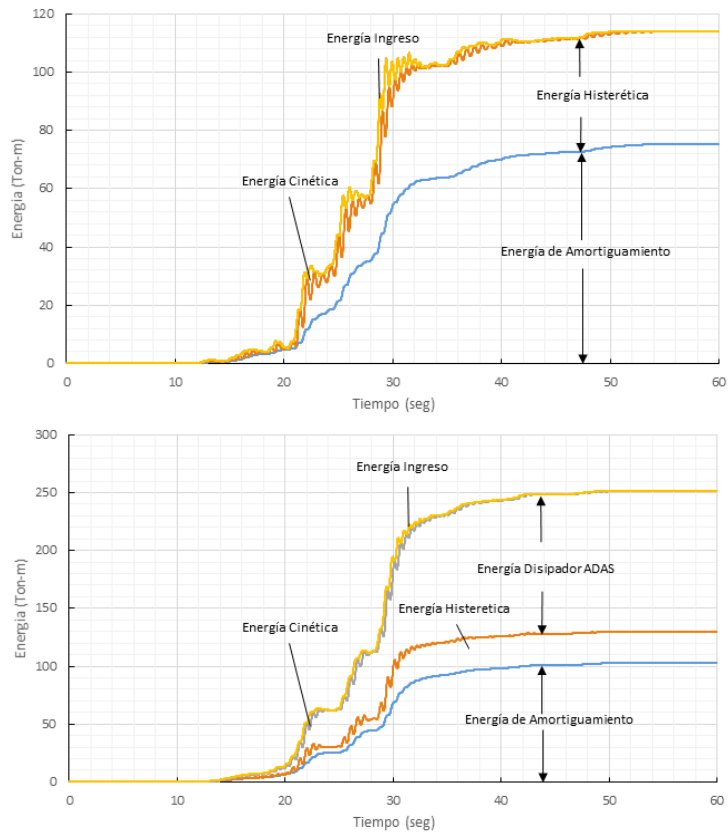


Figura 88 Respuesta Energética Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.

7.6.4 Histéresis de los Disipadores ADAS

Se presenta de manera gráfica las curvas histéricas de los disipadores ADAS en cada piso para el sismo El Centenario 1993, en las cuales se puede observar que cumplen con los parámetros descritos anteriormente en el diseño de los disipadores. Las curvas de histéresis de los dispositivos para los demás sismos se presentan en los Anexos.

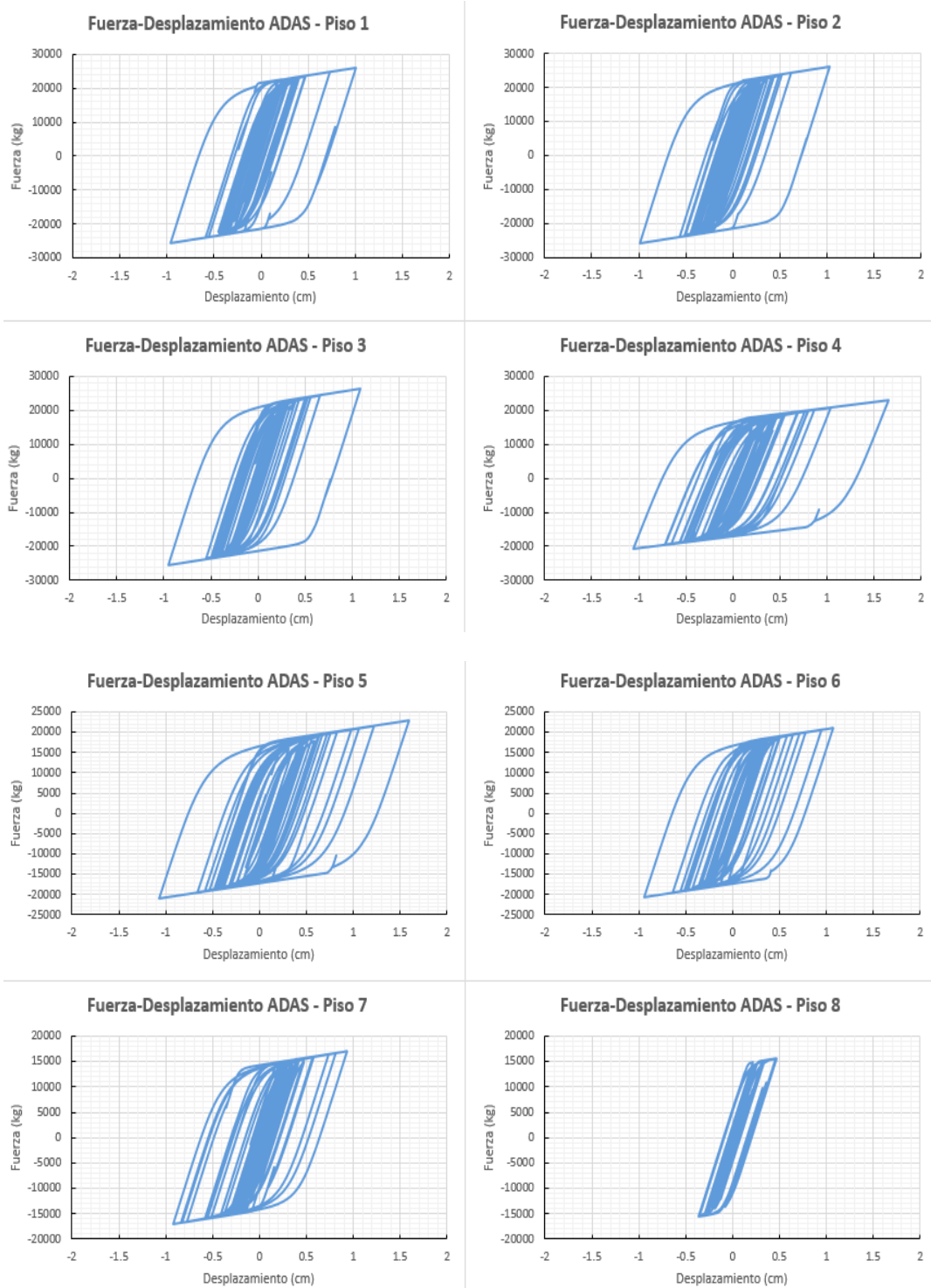


Figura 89 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 8 Pisos – Sismo El Centenario 1993

7.7 Resultados de los Análisis Dinámicos del Pórtico de 12 Pisos

7.7.1 Derivas de Piso

Se presentan los resultados de comparación de las derivas de piso del pórtico de 12 pisos sin disipadores y con disipadores. Se presentan tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. Se observa una reducción notable en las derivas de piso para los dos primeros sismos (Centenario y SG1), mientras que el sismo SG2 presenta un incremento ligero en las derivas de los pisos inferiores, mientras que en los pisos superiores se reduce de manera moderada.

Pisos	Deriva (%)						
	Cent 1993						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
12	1.28%	-0.70%	1.28%	0.16%	-0.18%	0.18%	86%
11	1.88%	-1.20%	1.88%	0.29%	-0.43%	0.43%	77%
10	0.96%	-0.84%	0.96%	0.38%	-0.27%	0.38%	60%
9	0.74%	-0.79%	0.79%	0.54%	-0.23%	0.54%	32%
8	0.44%	-0.56%	0.56%	0.51%	-0.25%	0.51%	9%
7	0.30%	-0.30%	0.30%	0.35%	-0.23%	0.35%	-14%
6	0.33%	-0.33%	0.33%	0.32%	-0.23%	0.32%	2%
5	0.31%	-0.31%	0.31%	0.27%	-0.20%	0.27%	13%
4	0.34%	-0.29%	0.34%	0.23%	-0.17%	0.23%	31%
3	0.41%	-0.36%	0.41%	0.25%	-0.17%	0.25%	38%
2	0.41%	-0.42%	0.42%	0.26%	-0.22%	0.26%	38%
1	0.28%	-0.40%	0.40%	0.17%	-0.20%	0.20%	49%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0%

Tabla 37 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993

Pisos	Deriva (%)						
	SG1						REDUCCIÓN
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
12	1.04%	-0.66%	1.04%	0.22%	-0.24%	0.24%	
11	1.60%	-1.21%	1.60%	0.35%	-0.46%	0.46%	71%
10	1.81%	-0.80%	1.81%	0.39%	-0.45%	0.45%	75%
9	1.75%	-0.99%	1.75%	0.54%	-0.56%	0.56%	68%
8	1.18%	-0.98%	1.18%	0.52%	-0.64%	0.64%	46%
7	0.65%	-0.47%	0.65%	0.46%	-0.47%	0.47%	27%
6	0.65%	-0.49%	0.65%	0.55%	-0.50%	0.55%	15%
5	0.62%	-0.57%	0.62%	0.59%	-0.56%	0.59%	6%
4	0.56%	-0.54%	0.56%	0.55%	-0.49%	0.55%	2%
3	0.56%	-0.64%	0.64%	0.62%	-0.51%	0.62%	3%
2	0.55%	-0.75%	0.75%	0.61%	-0.51%	0.61%	19%
1	0.38%	-0.69%	0.69%	0.42%	-0.40%	0.42%	38%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0%

Tabla 38 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1

Pisos	Deriva (%)						
	SG2						REDUCCIÓN
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
12	0.58%	-0.39%	0.58%	0.23%	-0.22%	0.23%	
11	0.74%	-0.70%	0.74%	0.40%	-0.45%	0.45%	39%
10	0.83%	-0.69%	0.83%	0.50%	-0.50%	0.50%	40%
9	0.93%	-0.89%	0.93%	0.68%	-0.68%	0.68%	27%
8	0.72%	-1.02%	1.02%	0.71%	-0.77%	0.77%	24%
7	0.49%	-0.64%	0.64%	0.63%	-0.56%	0.63%	2%
6	0.53%	-0.60%	0.60%	0.72%	-0.60%	0.72%	-20%
5	0.50%	-0.57%	0.57%	0.70%	-0.60%	0.70%	-23%
4	0.41%	-0.40%	0.41%	0.56%	-0.45%	0.56%	-36%
3	0.41%	-0.38%	0.41%	0.52%	-0.44%	0.52%	-27%
2	0.38%	-0.36%	0.38%	0.45%	-0.42%	0.45%	-17%
1	0.25%	-0.28%	0.28%	0.28%	-0.32%	0.32%	-15%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0%

Tabla 39 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2

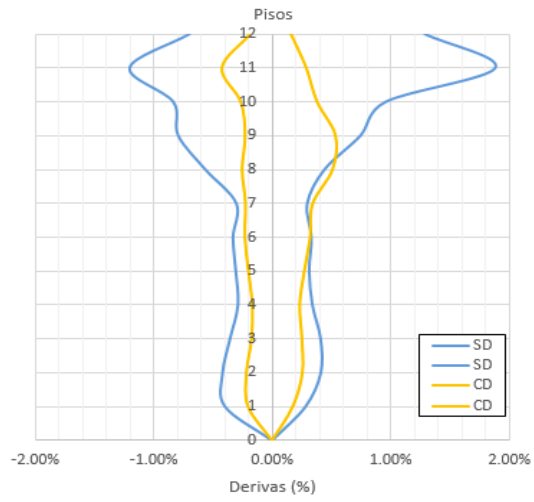


Figura 90 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993

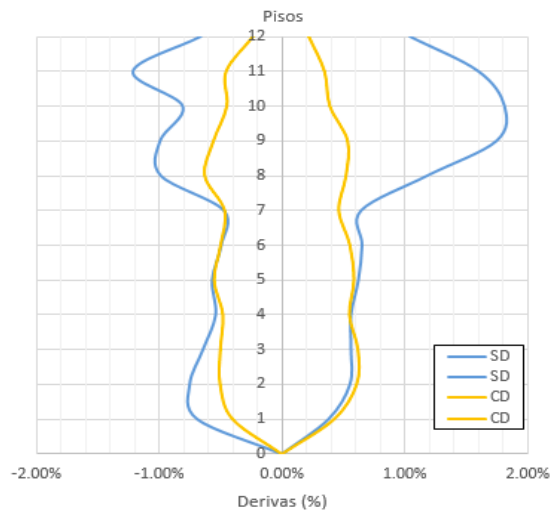


Figura 91 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1

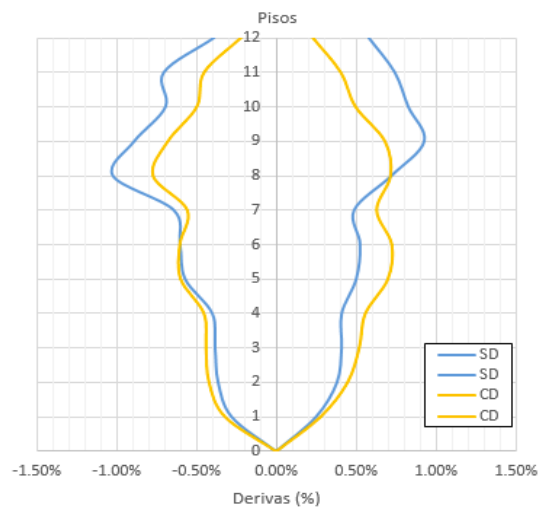


Figura 92 Derivas de Piso Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2

7.7.2 Desplazamientos Máximos

A continuación se presentan los resultados de comparación de los desplazamientos máximos del pórtico de 12 pisos sin disipadores y con disipadores por medio de tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. En rasgos generales, los resultados se presentan favorables para los dos primeros sismos, siendo más notable el beneficio en el sismo El Centenario 1993, sin embargo se observa que para el sismo SG2 los desplazamientos máximos absolutos aumentan con la incorporación de disipadores.

Pisos	Desplazamiento (cm)						
	Cent 1993						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
12	15.25	-12.12	15.25	9.04	-6.82	9.04	41%
11	10.63	-9.66	10.63	8.62	-6.34	8.62	19%
10	7.06	-8.09	8.09	7.93	-5.58	7.93	2%
9	6.60	-7.27	7.27	6.90	-5.02	6.90	5%
8	6.63	-6.52	6.63	5.61	-4.30	5.61	15%
7	7.10	-6.64	7.10	4.78	-3.91	4.78	33%
6	6.96	-6.54	6.96	4.21	-3.40	4.21	39%
5	6.32	-6.13	6.32	3.73	-2.78	3.73	41%
4	5.32	-5.38	5.38	3.18	-2.60	3.18	41%
3	4.16	-4.45	4.45	2.53	-2.25	2.53	43%
2	2.73	-3.26	3.26	1.69	-1.68	1.69	48%
1	1.27	-1.79	1.79	0.79	-0.92	0.92	49%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

Tabla 40 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993

Pisos	Desplazamiento (cm)						
	SG1						
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			REDUCCIÓN
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
12	31.69	-21.81	31.69	20.48	-20.55	20.55	35%
11	28.06	-19.97	28.06	19.69	-19.78	19.78	30%
10	22.34	-17.33	22.34	18.48	-18.16	18.48	17%
9	17.10	-15.90	17.10	17.13	-16.53	17.13	0%
8	14.52	-15.10	15.10	15.39	-14.59	15.39	-2%
7	12.93	-13.99	13.99	13.60	-12.40	13.60	3%
6	11.32	-12.99	12.99	12.02	-10.79	12.02	7%
5	9.26	-11.61	11.61	10.19	-9.06	10.19	12%
4	7.21	-9.85	9.85	8.22	-7.13	8.22	17%
3	5.60	-8.03	8.03	6.31	-5.42	6.31	21%
2	3.70	-5.77	5.77	4.10	-3.63	4.10	29%
1	1.71	-3.08	3.08	1.91	-1.82	1.91	38%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

Tabla 41 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1

Pisos	Desplazamiento (cm)						
	SG2						REDUCCIÓN
	SIN DISIPADORES			CON DISIPADORES			
	(+)	(-)	ABS	(+)	(-)	ABS	
12	18.79	-22.57	22.57	22.32	-20.07	22.32	
11	17.71	-21.41	21.41	21.52	-19.38	21.52	-1%
10	16.33	-19.33	19.33	20.18	-17.91	20.18	-4%
9	14.72	-17.14	17.14	18.54	-16.24	18.54	-8%
8	12.62	-14.18	14.18	16.30	-13.98	16.30	-15%
7	10.57	-11.00	11.00	13.86	-11.64	13.86	-26%
6	8.91	-9.03	9.03	11.63	-10.02	11.63	-29%
5	7.12	-7.12	7.12	9.09	-8.12	9.09	-28%
4	5.39	-5.27	5.39	6.65	-6.09	6.65	-23%
3	3.94	-3.89	3.94	4.68	-4.49	4.68	-19%
2	2.48	-2.54	2.54	2.84	-2.91	2.91	-14%
1	1.12	-1.25	1.25	1.24	-1.44	1.44	-15%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

Tabla 42 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2

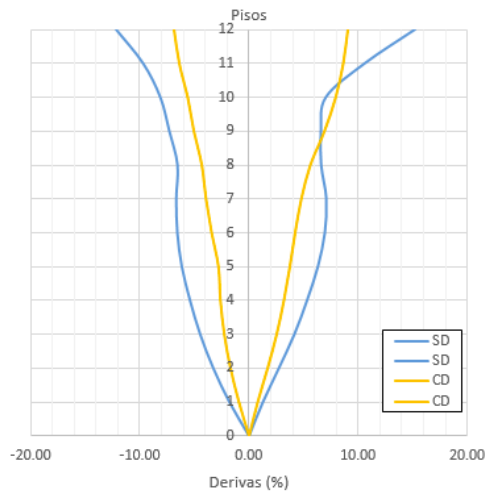


Figura 93 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993

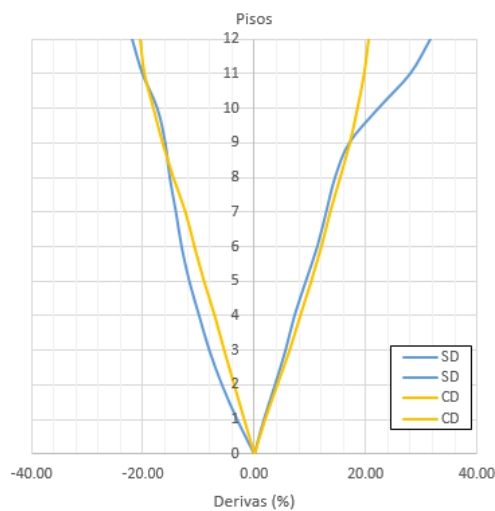


Figura 94 Desplazamientos Máximos Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1

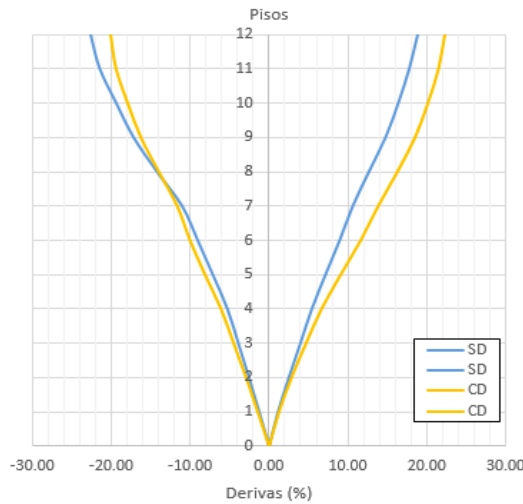


Figura 95 Desplazamientos Máximos Pódico de 12 Pisos – Sismo SG2

7.7.3 Respuesta Energética

Se presentan los resultados de comparación de la respuesta energética del pódico de 12 pisos sin disipadores y con disipadores por medio de tablas de valores con sus respectivos porcentajes de reducción, además de los resultados gráficamente. Se observa una mejora notable en el desempeño durante el sismo El Centenario y el sismo SG1, en el primero se logra una respuesta casi elástico con la incorporación de disipadores, mientras que el el segundo se logra una reducción del 93.78% en la energía histerética. En el sismo SG2 se presenta una mejora no tan notable como las anteriores, el sistema pasa de disipar 23.70 *Ton – m* mediante energía inelástica sin disipadores a disipar 10.99 *Ton – m* con disipadores.

		Energía al Final del Sismo - 12 Pisos							
		Energía de Amortig.		Energía Histerética		Energía Disipador ADAS		Energía Entrada	
		Ton-m	%	Ton-m	%	Ton-m	%	Ton-m	
Cent 1993	SIN DISIPADORES	66.72	58.33%	47.65	41.66%	-	-	114.39	
	CON DISIPADORES	47.58	58.21%	0.17	0.21%	33.96	41.56%	81.73	
	REDUCCIÓN (%)	28.69%		99.64%		-		28.55%	
SG1	SIN DISIPADORES	132.70	53.18%	116.83	46.82%	-	-	249.53	
	CON DISIPADORES	114.90	47.12%	7.27	2.98%	121.67	49.89%	243.88	
	REDUCCIÓN (%)	13.41%		93.78%		-		2.26%	
SG2	SIN DISIPADORES	74.13	75.77%	23.70	24.22%	-	-	97.83	
	CON DISIPADORES	133.69	50.87%	10.99	4.18%	118.13	44.95%	262.82	
	REDUCCIÓN (%)	-80.35%		53.64%		-		-168.64%	

Tabla 43 Respuesta Energética Global del Sistema de 12 Pisos Sin Disipadores y Con Disipadores

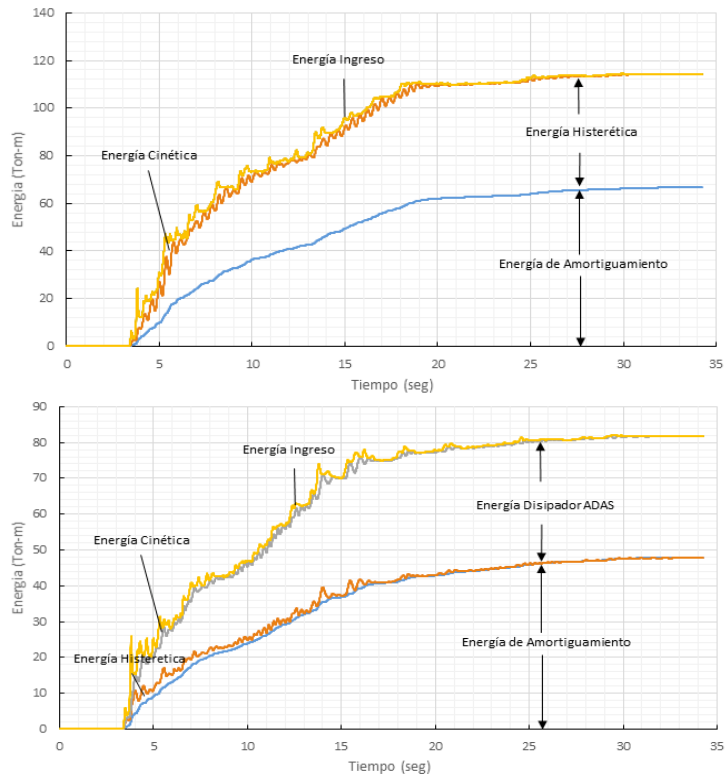


Figura 96 Respuesta Energética Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.

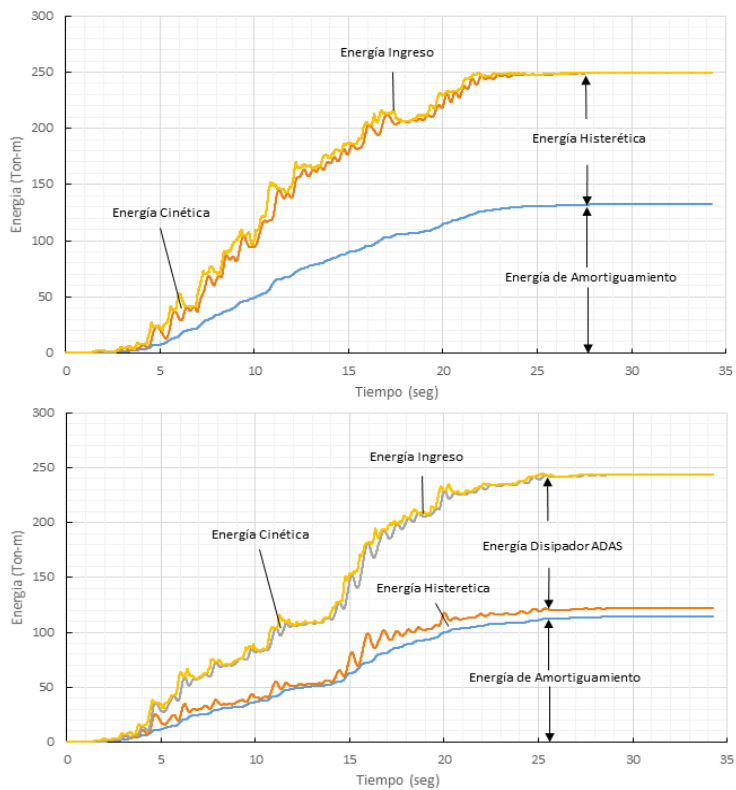


Figura 97 Respuesta Energética Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores

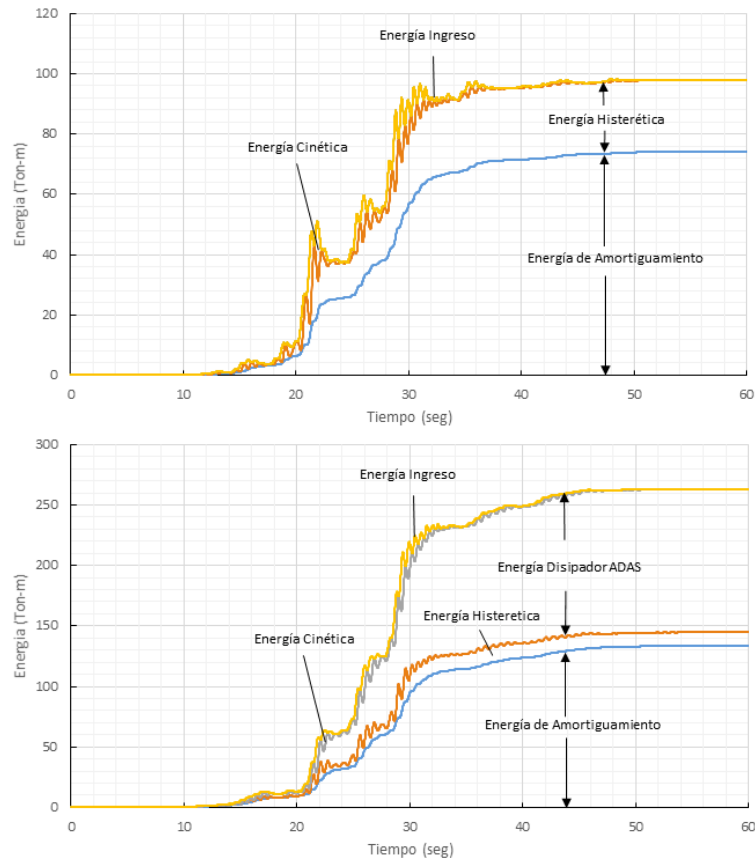
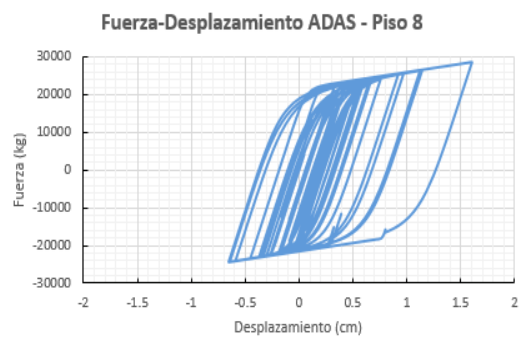
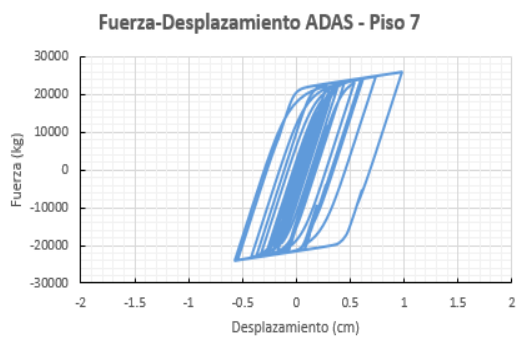
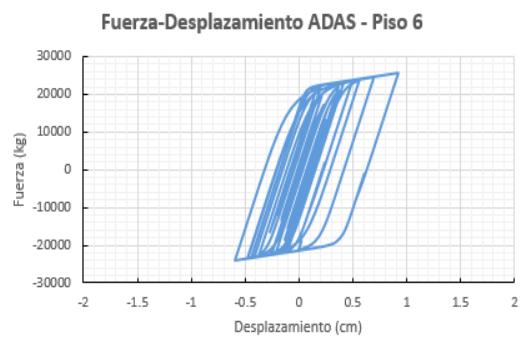
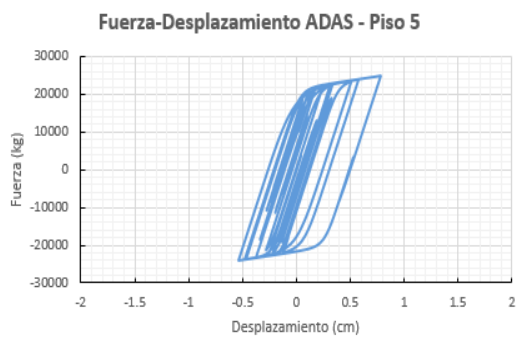
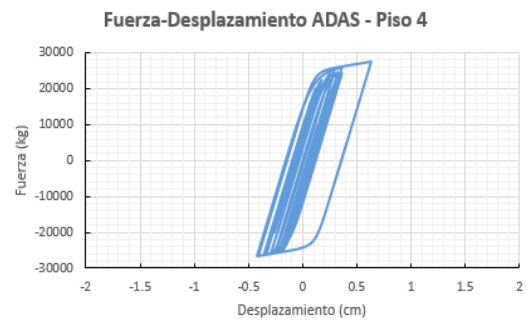
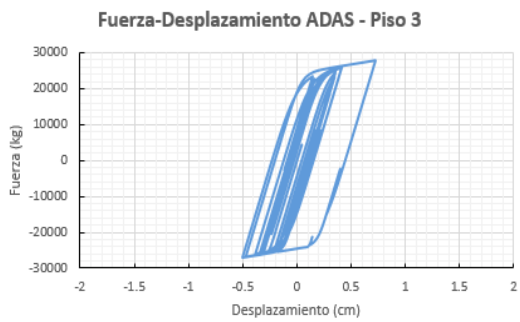
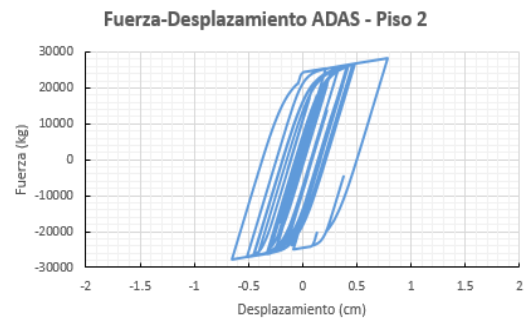
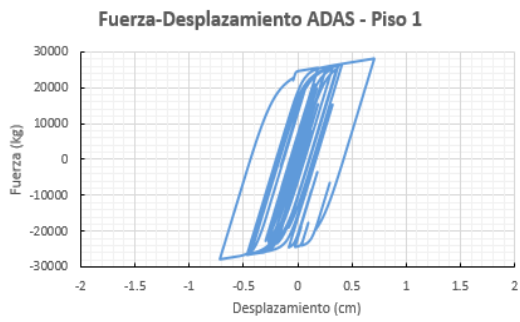


Figura 98 Respuesta Energética Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2. Sup.: Respuesta Sin Disipadores, Inf.: Respuesta Con Disipadores.

7.7.4 Histéresis de los Disipadores ADAS

Se presenta de manera gráfica las curvas histeréticas de los disipadores ADAS en cada piso para el sismo El Centenario 1993, en las cuales se puede observar que cumplen con los parámetros descritos anteriormente en el diseño de los disipadores. Las curvas de histéresis de los dispositivos para los demás sismos se presentan en los Anexos.



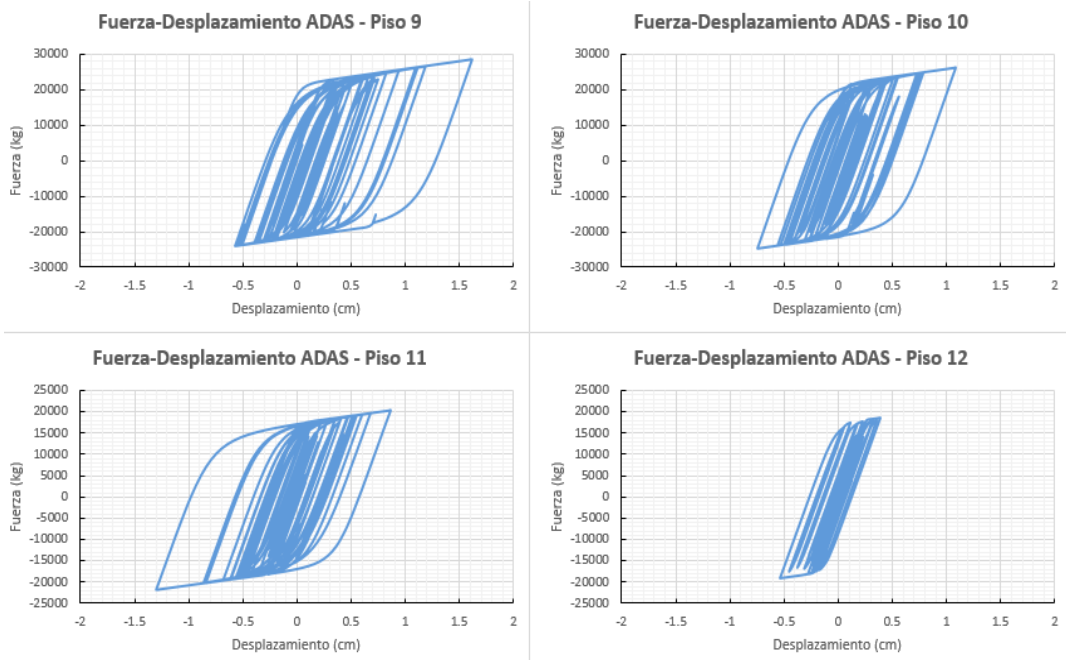


Figura 99 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 12 Pisos – Sismo El Centenario 1993

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Los disipadores tipo ADAS permiten una gran flexibilidad en su diseño, por la capacidad de calibración de sus parámetros, tanto su rigidez, fuerza de fluencia y desplazamiento de fluencia, lo cual permite que sean altamente adaptables a casi cualquier tipo de estructura, el costo de los mismos es relativamente menor a otros tipos de disipadores (viscosos, viscoelásticos, etc) y no se requiere un alto grado de tecnificación ni tecnología para fabricarlos, lo cual los convertiría en la opción más factible para el inicio de la implementación de disipadores de energía en edificios en la ciudad.

La incorporación de los dispositivos ADAS en los pórticos de prueba en este trabajo, produjo en rasgos generales resultados satisfactorios, comprobando que su aplicación para el mejoramiento sísmico de estructuras de hormigón armado es una alternativa viable en una ciudad como la nuestra, y además su implementación es recomendable, debido al alto riesgo sísmico de Guayaquil y del país en general.

Es posible que la energía de ingreso se incremente notablemente al introducir los dispositivos ADAS, sin embargo el principal parámetro de control en la respuesta energética es la energía disipada por la inelasticidad en los elementos estructurales, reflejada en la energía histerética obtenida al final del sismo, medida de forma absoluta y no como porcentaje de la energía de ingreso al final de la excitación. Este parámetro es un importante indicador de daño estructural y aunque se obtuvo de manera global en este trabajo, es posible obtener la energía histerética de cualquier elemento estructural, identificando los elementos que sufren mayor daño durante un sismo en particular.

Los mejores resultados se produjeron en los pórticos de 4 pisos, lo cual implica que el diseño desarrollado para estos ejemplos es altamente satisfactorio, reduciendo en gran medida los niveles de índices de daño como son las derivas y la energía histerética disipada, además de reducir considerablemente los desplazamientos máximos obtenidos en todos los niveles para los tres sismos analizados.

Los pórticos de 8 y 12 pisos presentaron resultados favorables para los sismos de El Centenario y SG1, mientras que para el sismo SG2 no resultaron en un beneficio considerable. Sin embargo la redistribución de las derivas de entre piso en este último caso puede resultar beneficiosa, ya que concentra las mayores derivas en los pisos inferiores donde las columnas tienen una sección mayor y son capaces de resistir mayores deformaciones (en el caso de estar bien detalladas).

El poco beneficio aparente de los disipadores en las estructuras de 8 y 12 pisos para el sismo SG2 no implica que los mismos no sean aplicables para estos sistemas, probablemente se requiera un análisis más profundo para llegar a un diseño óptimo en este caso, resultando ligeramente más costoso que la solución propuesta.

8.2 Recomendaciones

Es altamente recomendable establecer y ensayar modelos físicos de estos disipadores para poder contar con datos de resultados experimentales en la cual se reflejen variables locales, entre ellas mano de obra local, procesos y materiales utilizados, lo cual sirva de base para poder calibrar el comportamiento matemático de los modelos de una mejor manera.

Resultaría beneficioso incorporar al modelo matemático de los dispositivos condiciones de degradación de rigidez, resistencia y considerar los efectos de fatiga de bajo ciclo, los cuales disminuyen la eficiencia de los mismos. Además de considerar inelasticidad y pandeo en los arriostramientos, lo cual también perjudica el desempeño de los disipadores ADAS.

Se recomienda realizar estudios paramétricos para cada uno de los modelos utilizados, lo cual permitiría visualizar las características óptimas de los disipadores (dimensiones, número de placas, disposición) para cada tipo de estructura y para cada sismo considerado, las cuales podrían resultar muy variables, de esa manera estableces un diseño óptimo para cada caso.

Los acelerógrafos locales llevan un tiempo relativamente corto en funcionamiento, es a partir de 1989 que la ciudad cuenta con una pequeña red de acelerógrafos, en este lapso de tiempo no ha ocurrido un sismo considerable en la ciudad que represente realmente la amenaza sísmica a la que se encuentra sometida. Debido a la poca cantidad de registros sísmicos locales, es usual acudir a acelerogramas sintéticos o a sismos registrados en otros lugares donde se supone que las características, tanto geotécnicas como de riesgo sísmico son similares a las de la ciudad. En ocasiones es difícil definir las características que definen sismos representativos del riesgo sísmico de la ciudad, al menos sin contar con un profundo conocimiento en el tema, sin embargo al realizar análisis dinámicos no-lineales se recomienda utilizar varios registros representativos, la norma NEC recomendando utilizar entre 3 a 7 sismos, por lo tanto, contar con una pequeña base de datos de sismos representativos en la ciudad resultaría beneficioso para futuras investigaciones.

Un análisis económico resultaría beneficioso para diseñadores que busquen realizar diseños más económicos mediante la incorporación de estos dispositivos, sin embargo, el beneficio económico que representan los sistemas de protección sísmica radica en el largo plazo y los posibles costos de rehabilitación luego de un evento severo. Un análisis económico como el descrito debe incluir los costos de instalación así como los detalles de las diversas conexiones del sistema, lo cual puede resultar complicado de determinar a nivel de prediseño con todas las idealizaciones del modelo tal como se realizó en el trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiken, I. (1996). Passive Energy Dissipation - Hardware and Applications (pp. 1-24). Presentado en Los Angeles County and SEAOSC Symposium on Passive Energy Dissipation Systems for New and Existing Buildings, Los Angeles. Recuperado a partir de http://www.siecorp.com/publications/papers/ida_1996a.pdf
- Aiken, I., Nims, D., Whittaker, A., & Kelly, J. (1993). Testing of Passive Energy Dissipation Systems. *Earthquake Spectra*, 9(3), 1-36. Recuperado a partir de http://www.siecorp.com/publications/papers/ida_1993a.pdf
- American Concrete Institute. (2011). *Building Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11)*. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute.
- American Institute of Steel Construction. (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-10)*. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.
- American Society of Civil Engineers (2007). *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-06)*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers
- American Society of Civil Engineers (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10)*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers
- Barrios, O. (2005). Disipadores Histeréticos de Energía Sísmica. *Repositorio Digital de la Universidad de los Andes, Colombia*. Recuperado a partir de http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/758/MI_ICYA_2005_037.pdf?sequence=1
- Bozorgnia, Y., & Bertero, V. (2004). *Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Bozzo, L., & Barbat, A. (2004). *Diseño Sismorresistente de Edificios: Técnicas Convencionales y Avanzadas*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.
- Brockenbrough, R., & Merritt, F. (1999). *Structural Steel Designer's Handbook* (3.^a ed.). New York, New York: McGraw Hill, Inc.
- Bruneau, M., Uang, C., & Whittaker, A. (1998). *Ductile Design of Steel Structures*. Boston, Massachusetts: McGraw Hill, Inc.
- Cancelado, R. (2012). *Caracterización Mecánica y Modelamiento Estructural de un Disipador Pasivo de Energía de Tipo Arriostamiento de Pandeo Restringido. Parte 1*. (Trabajo de Investigación Previo a la Obtención del Título de Magister en Estructuras). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Chen, W., & Lui, E. M. (2005). *Handbook of Structural Engineering* (2.^a ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Chopra, A. (2012). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (4.^a ed.). Boston, Massachusetts: Prentice Hall.
- Clark, P., Aiken, I., Kasai, K., Ko, E., & Kimura, I. (1999). Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damping Devices. Presentado en Proceedings, 68th Annual Convention, Santa Barbara, California. Recuperado a partir de http://www.siecorp.com/publications/papers/ida_1999.pdf
- Clough, R., & Penzien, J. (2003). *Dynamics of Structures* (3.^a ed.). Berkeley, California: Computers & Structures Inc.
- Coburn, A., & Spence, R. (2002). *Earthquake Protection* (2.^a ed.). West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Constantinou, M., & Symans, M. (1993). Seismic Response of Structures with Supplemental Damping. *The Structural Design of Tall Buildings*, 2, 77-92. Recuperado a partir de <http://www.taylordevices.com/Tech-Paper-archives/literature-pdf/21-SeismicResponseStructures.pdf>
- Corporación de Desarrollo Tecnológico, & Cámara Chilena de la Construcción. (2011). Protección Sísmica de Estructuras - Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. Recuperado a partir de <http://www.cdt.cl/cdt/uploads/Proteccion%20Sismica%20de%20Estructuras.pdf>
- Hanson, R., Xia, C., & Su, Y. (1992). Design of Supplemental Steel Damping Devices for Buildings. Presentado en Earthquake Engineering. Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam. Recuperado a partir de http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/10_vol7_4139.pdf
- Kelly, J., Skinner, R., & Heine, A. (1972). Mechanism of Energy Absorption in Special Devices for Use in Earthquake Resistant Structures. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 5(3), 63-88. Recuperado a partir de [http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/05\(3\)0063.pdf](http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/05(3)0063.pdf)
- Kelly, T. (2001). *In-Structure Damping and Energy Dissipation-Design Guidelines*. Wellington, New Zealand: Holmes Consulting Group, Ltd. Recuperado a partir de <http://www.emke.com.tr/sites/default/files/resources/regulations/DamperDesignGuidelines-US.pdf>
- Key, D. (1984). The Seismic Performance of Energy Absorbing Dampers in Building Structures. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 17(1), 38-46. Recuperado a partir de [http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/17\(1\)0038.pdf](http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/17(1)0038.pdf)
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

- Lama, W. (2013). *Análisis y Diseño de Estructuras de Acero con Disipadores Viscoelásticos para la Ciudad de Guayaquil* (Trabajo de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Lara, O. (2013). *Sistemas de Protección Sísmica de Estructuras*. Guayaquil, Ecuador.
- Liang, Z., Lee, G., Dargush, G., & Song, J. (2012). *Structural Damping: Applications in Seismic Response Modifications*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Mayorga, C. (2011). *Caracterización Mecánica y Modelamiento Estructural de un Disipador Pasivo de Energía de Tipo Arriostramiento de Pandeo Restringido. Parte 2.* (Trabajo de Investigación Previo a la Obtención del Título de Magister en Estructuras). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M., & Fenves, G. (2007). *OpenSees Command Language Manual*.
- Naeim, F. (2001). *The Seismic Design Handbook* (2.^a ed.). New York, New York: Springer.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-11. , Decreto Ejecutivo No. 705 del 06 de abril de 2011.
- Oviedo, J., & Duque, M. (2006). Sistemas de Control de Respuesta Sísmica en Edificaciones. *Revista EIA*, 6, 105-120. Recuperado a partir de <http://revista.eia.edu.co/articulos6/Articulo9.pdf>
- Palazzo, G., & Crisafulli, F. (2011). Evaluación de la Eficiencia de Disipadores por Fluencia Usados para la Rehabilitación de Pórticos. Recuperado a partir de <http://www.proyectoleonardo.net/index.php/leonardo/article/download/28/34>
- Park, R., & Paulay, T. (1974). *Reinforced Concrete Structures*. New York, New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York, New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Paz, M., & Leigh, W. (2004). *Structural Dynamics: Theory and Computation* (5.^a ed.). Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Retamales, R. (2013). Sistemas de Protección Sísmica de Estructuras. Presentado en V Conferencia Ecuatoriana de Ingeniería Sísmica «Dr. Otton Lara Montiel», Guayaquil, Ecuador.
- Reyes, J., & Rubiano, N. (2002). Modelación Inelástica de Edificios de Concreto con Disipadores de Energía Histeréticos. *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes*, 15, 30-39. Recuperado a partir de <https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev15art5.pdf>

- Sajjadi, S., Keyhani, A., & Pourmohammad, H. (2008). Behavior and Performance of Structures Equipped with ADAS & TADAS Dampers (A Comparison with Conventional Structures). Presentado en The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China. Recuperado a partir de http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_S25-003.pdf
- Skinner, R., Tyler, R., Heine, A., & Robinson W. (1980). Hysteretic Dampers for the Protection of Structures from Earthquakes. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 13(1), 22-36. Recuperado a partir de [http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/13\(1\)0022.pdf](http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/13(1)0022.pdf)
- Soni, A., & Sanghvi, C. (2012). Mathematical Modelling of ADAS Damper Element and Non-Linear Time History Analysis of SDOF Steel Structure Using ETABS. *Journal of Engineering Research and Studies*, 3(4), 13-16. Recuperado a partir de <http://www.technicaljournalsonline.com/jers/VOL%20III/JERS%20VOL%20III%20ISSUE%20IV%20OCTOBER%20DECEMBER%202012/Article%204%20Vol%20III%20Issue%20IV.pdf>
- Soong, T., & Dargush, G. (1997). *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Soong, T., & Spencer, B. (2002). Supplemental Energy Dissipation: State-of-the-Art and State-of-the-Practice. *Engineering Structures*, 24, 243-259. Recuperado a partir de <http://sstl.cee.illinois.edu/papers/SoongSpencer.pdf>
- Symans, M., Chamey, F., Whittaker, A., Constantinou, M., Kircher, C., Johnson, M., & McNamara, R. (2008). Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments. *Journal of Structural Engineering*. ASCE, 1(3), 3-21. Recuperado a partir de http://www.ce.berkeley.edu/~mahin/CE227web/EnergyDissipationSystems-Symans-Charney-Whittaker_JSE_Jan08.pdf
- Tandazo, E., & Ramírez, J. (2006). *Obtención de Ecuaciones de Correlación para Estimar las Velocidades de las Ondas de Corte en los Suelos de la Ciudad de Guayaquil* (Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Tsai, K., Chen, H., Hong, C., & Su, Y. (1993). Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction. *Earthquake Spectra*, 9(3), 505-528.
- Tyler, R. (1978). Tapered Steel Energy Dissipators for Earthquake Resistant Structures. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 11(4), 282-294. Recuperado a partir de [http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/11\(4\)0282.pdf](http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/11(4)0282.pdf)
- Uang, C., & Bertero, V. (1986). Earthquake Simulation Tests and Associated Studies of a 0.3 Scale Model of a Six-Story Concentrically Braced Steel Structure. *Report No. UCB/EERC-86/10*, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California.

- Uang, C., Nakashima, M., & Tsai, K. (2004). Research and Application of Buckling-Restrained Braced Frames. *International Journal of Steel Structures*, 4, 301-313. Recuperado a partir de [http://www.ceric.net/kssc/KSSC_3_2004_4_4_301\(C\).pdf](http://www.ceric.net/kssc/KSSC_3_2004_4_4_301(C).pdf)
- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería (IIFIUC). (1999). *Proyecto RADIUS: Herramientas de Evaluación del Riesgo para el Diagnóstico de Zonas Urbanas contra Desastres Sísmicos*. Guayaquil, Ecuador.
- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería (IIFIUC). (2001). *Manual de Diseño de Estructuras Sismo-Resistentes para Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- Vedia, L., & Svoboda, H. (2002). Fatiga, Apuntes de Clase. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Recuperado a partir de <http://materias.fi.uba.ar/6716/Fatiga.pdf>
- Vera, X., Bray, J., Pestana, J., Kayen, R., Tandazo, E., Vera, J., & Mera, W. (2006). Site Characterization and Seismic Zonation of Guayaquil City, Ecuador. Presentado en Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California. Recuperado a partir de <http://www.walrus.wr.usgs.gov/reports/.../8NCEE-001467.pdf>
- Villarreal, G., & Oviedo, R. (2009). *Edificaciones con Disipadores de Energía (Libro Premio Nacional ANR 2008)*. Recuperado a partir de <http://gennervillarrealcastro.blogspot.com/2012/07/libros-digitales-del-dr-genner.html>
- Villaverde, R. (2009). *Fundamental Concepts of Earthquake Engineering*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Xia, C., & Hanson, R. (1992). Influence of ADAS Element Parameters on Building Seismic Response. *Journal of Structural Engineering. ASCE*, 118(7), 1903-1918. Recuperado a partir de <http://ascelibrary.org>
- Yousefzadeh, A., Sebt, M., & Tehranizadeh, M. (2011). The Optimal TADAS Damper Placement in Moment Resisting Steel Structures Based on a Cost-Benefit Analysis. *International Journal of Civil Engineering*, 9(1), 23-32. Recuperado a partir de http://ijce.iust.ac.ir/browse.php?a_id=433&slc_lang=en&sid=1&ftxt=1
- Zabala, F., Bustos, J., Masanet, A., & Santalucía, J. (2003). Desarrollo de Disipadores de Fluencia de Metales y su Aplicación a Sistemas Pasivos de Protección Sísmica. Presentado en Memorias del 6to Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción.
- Zapata, L. (1997). *Diseño Estructural en Acero*. Lima, Perú.

ANEXOS

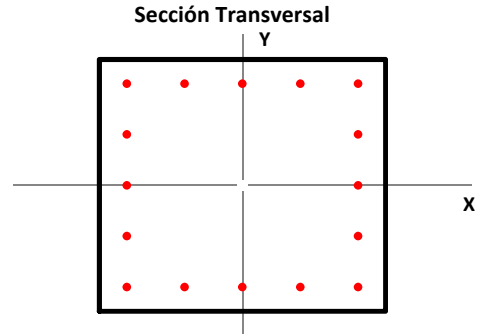
ANEXO 1

Diseño de Columnas y Vigas de Hormigón Armado

COLUMNA 50x50 Pisos 1-2 (PORTICO 4 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	50.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	50.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	2500 cm ²	Área de la Sección Gruesa



2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y

3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	5	Número de Disp. X
N_y	5	Número de Disp. Y
N	16	Número de Varillas
Φ_x	16 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	16 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	16 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	32.17 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.29%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	10.10 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	10.10 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	8.50 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	8.50 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	100 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.03 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.03 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 51.77 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

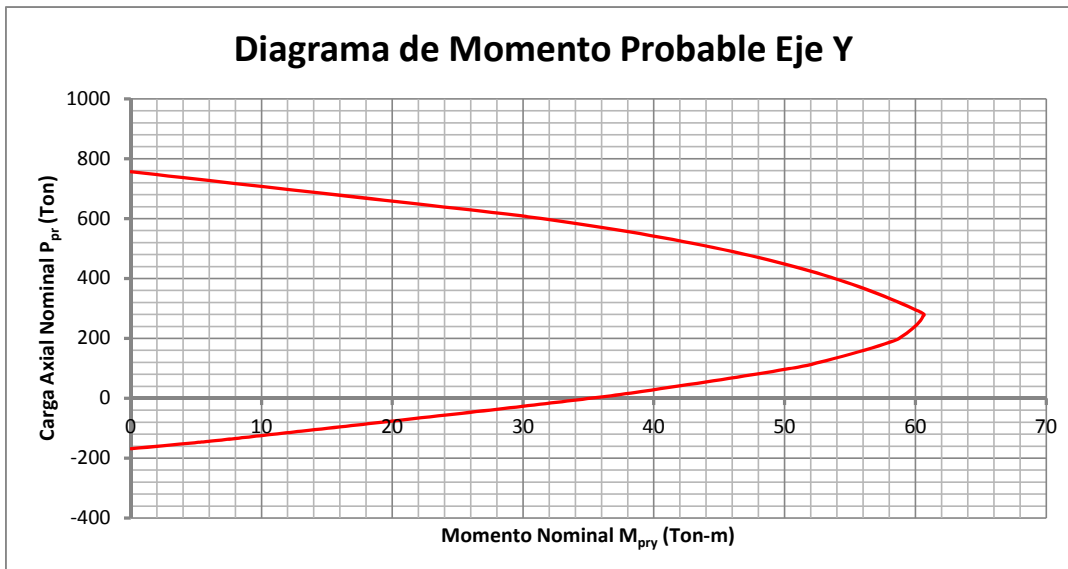
V_{ux} 16.59 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

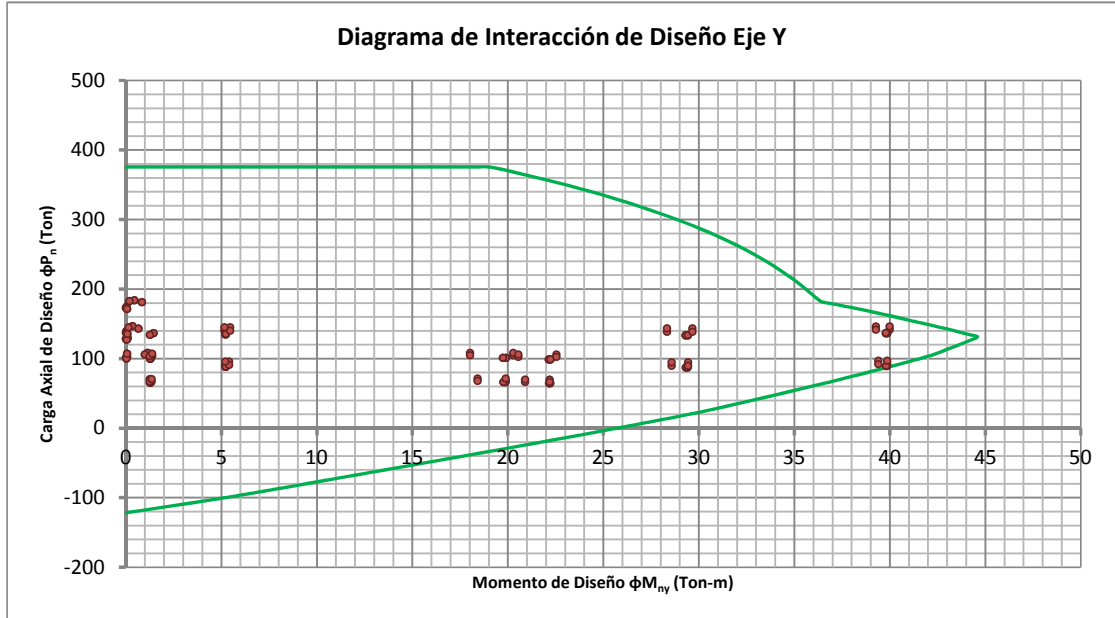
$M_{prmax,y}$ 57.82 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 32.12 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
146.47	0.36	375.68	42.41	0.39	OK
144.71	0.15	375.68	42.68	0.39	OK
142.95	0.67	375.68	42.95	0.38	OK
183.89	0.46	375.68	36.32	0.49	OK
182.38	0.20	375.68	36.41	0.49	OK
180.87	0.85	375.68	36.61	0.48	OK
141.28	40.00	148.60	43.19	0.95	OK
139.76	5.17	375.68	43.42	0.37	OK
138.25	28.35	179.65	43.63	0.77	OK
146.28	39.29	153.65	42.44	0.95	OK
144.77	5.47	375.68	42.67	0.39	OK
143.26	29.67	178.73	42.90	0.80	OK
91.66	39.88	93.65	40.45	0.99	OK
90.52	5.22	363.86	40.29	0.25	OK
89.39	28.58	137.02	40.14	0.71	OK
96.67	39.41	102.86	41.12	0.96	OK
95.53	5.42	365.54	40.97	0.26	OK
94.40	29.44	139.40	40.82	0.72	OK

108.10	1.14	375.68	42.51	0.29	OK
106.84	0.07	375.68	42.39	0.28	OK
105.58	1.00	375.68	42.25	0.28	OK
136.41	1.47	375.68	43.89	0.36	OK
135.33	0.09	375.68	44.04	0.36	OK
134.25	1.28	375.68	44.19	0.36	OK
104.61	20.30	186.46	42.13	0.56	OK
103.53	1.38	375.68	42.00	0.28	OK
102.45	20.56	181.63	41.87	0.56	OK
108.06	18.03	210.45	42.50	0.51	OK
106.98	1.24	375.68	42.40	0.28	OK
105.90	22.55	176.14	42.29	0.60	OK
67.77	19.90		37.04	0.54	OK
66.96	1.36		36.92	0.04	OK
66.15	20.91		36.80	0.57	OK
71.22	18.43	157.28	37.55	0.49	OK
70.41	1.27	375.68	37.43	0.19	OK
69.60	22.20		37.31	0.59	OK
138.99	0.03	375.68	43.53	0.37	OK
137.23	0.01	375.68	43.78	0.37	OK
135.46	0.06	375.68	44.03	0.36	OK
174.23	0.04	375.68	37.85	0.46	OK
172.72	0.02	375.68	38.12	0.46	OK
171.21	0.08	375.68	38.39	0.46	OK
136.10	39.81	145.50	43.94	0.94	OK
134.58	5.25	375.68	44.15	0.36	OK
133.07	29.44	172.52	44.35	0.77	OK
136.61	39.87	145.70	43.87	0.94	OK
135.10	5.22	375.68	44.08	0.36	OK
133.58	29.32	173.27	44.28	0.77	OK
89.09	39.82	90.05	40.10	0.99	OK
87.96	5.25	360.49	39.94	0.24	OK
86.83	29.41	131.54	39.78	0.74	OK
89.61	39.86	90.68	40.17	0.99	OK
88.47	5.23	361.43	40.01	0.24	OK
87.34	29.34	132.35	39.85	0.74	OK
102.55	0.08	375.68	41.88	0.27	OK
101.29	0.02	375.68	41.73	0.27	OK
100.03	0.04	375.68	41.57	0.27	OK
129.23	0.10	375.68	44.42	0.34	OK
128.15	0.02	375.68	44.34	0.34	OK
127.07	0.05	375.68	44.25	0.34	OK
100.65	19.76	184.80	41.65	0.54	OK
99.57	1.27	375.68	41.51	0.27	OK
98.49	22.24	170.53	41.36	0.58	OK
100.98	19.92	184.13	41.69	0.55	OK

99.90	1.31	375.68	41.55	0.27	OK
98.82	22.16	171.23	41.41	0.58	OK
65.76	19.78		36.74	0.54	OK
64.95	1.28		36.62	0.03	OK
64.14	22.23		36.50	0.61	OK
66.09	19.89		36.79	0.54	OK
65.28	1.30		36.67	0.04	OK
64.47	22.17		36.55	0.61	OK
138.99	0.03	375.68	43.53	0.37	OK
137.23	0.01	375.68	43.78	0.37	OK
135.46	0.06	375.68	44.03	0.36	OK
174.23	0.04	375.68	37.85	0.46	OK
172.72	0.02	375.68	38.12	0.46	OK
171.21	0.08	375.68	38.39	0.46	OK
136.10	39.87	145.35	43.94	0.94	OK
134.58	5.22	375.68	44.15	0.36	OK
133.07	29.32	172.90	44.35	0.77	OK
136.61	39.81	145.86	43.87	0.94	OK
135.10	5.25	375.68	44.08	0.36	OK
133.58	29.44	172.89	44.28	0.77	OK
89.09	39.86	89.91	40.10	0.99	OK
87.96	5.23	360.84	39.94	0.24	OK
86.83	29.34	131.79	39.78	0.74	OK
89.61	39.82	90.82	40.17	0.99	OK
88.47	5.25	361.09	40.01	0.25	OK
87.34	29.41	132.10	39.85	0.74	OK
102.55	0.08	375.68	41.88	0.27	OK
101.29	0.02	375.68	41.73	0.27	OK
100.03	0.04	375.68	41.57	0.27	OK
129.23	0.10	375.68	44.42	0.34	OK
128.15	0.02	375.68	44.34	0.34	OK
127.07	0.05	375.68	44.25	0.34	OK
100.65	19.92	183.65	41.65	0.55	OK
99.57	1.31	375.68	41.51	0.27	OK
98.49	22.16	170.90	41.36	0.58	OK
100.98	19.76	185.27	41.69	0.55	OK
99.90	1.27	375.68	41.55	0.27	OK
98.82	22.24	170.85	41.41	0.58	OK
65.76	19.89		36.74	0.54	OK
64.95	1.30		36.62	0.04	OK
64.14	22.17		36.50	0.61	OK
66.09	19.78		36.79	0.54	OK
65.28	1.28		36.67	0.03	OK
64.47	22.23		36.55	0.61	OK
146.47	0.36	375.68	42.41	0.39	OK
144.71	0.15	375.68	42.68	0.39	OK
142.95	0.67	375.68	42.95	0.38	OK

183.89	0.46	375.68	36.32	0.49	OK
182.38	0.20	375.68	36.41	0.49	OK
180.87	0.85	375.68	36.61	0.48	OK
141.28	39.29	150.31	43.19	0.94	OK
139.76	5.47	375.68	43.42	0.37	OK
138.25	29.67	175.39	43.63	0.79	OK
146.28	40.00	151.91	42.44	0.96	OK
144.77	5.17	375.68	42.67	0.39	OK
143.26	28.35	183.63	42.90	0.78	OK
91.66	39.41	95.19	40.45	0.97	OK
90.52	5.42	360.11	40.29	0.25	OK
89.39	29.44	134.21	40.14	0.73	OK
96.67	39.88	101.11	41.12	0.97	OK
95.53	5.22	369.10	40.97	0.26	OK
94.40	28.58	142.21	40.82	0.70	OK
108.10	1.14	375.68	42.51	0.29	OK
106.84	0.07	375.68	42.39	0.28	OK
105.58	1.00	375.68	42.25	0.28	OK
136.41	1.47	375.68	43.89	0.36	OK
135.33	0.09	375.68	44.04	0.36	OK
134.25	1.28	375.68	44.19	0.36	OK
104.61	18.03	205.18	42.13	0.51	OK
103.53	1.24	375.68	42.00	0.28	OK
102.45	22.55	173.01	41.87	0.59	OK
108.06	20.30	191.48	42.50	0.56	OK
106.98	1.38	375.68	42.40	0.28	OK
105.90	20.56	186.34	42.29	0.57	OK
67.77	18.43		37.04	0.50	OK
66.96	1.27		36.92	0.03	OK
66.15	22.20		36.80	0.60	OK
71.22	19.90	149.85	37.55	0.53	OK
70.41	1.36	375.68	37.43	0.19	OK
69.60	20.91		37.31	0.56	OK

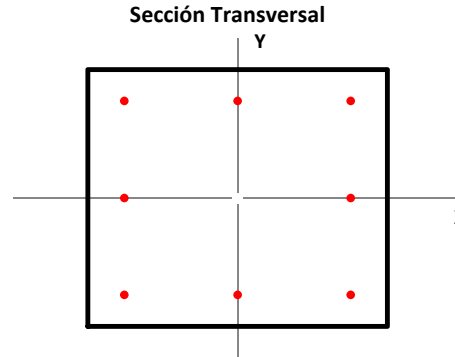
COLUMNA 40x40 Pisos 1-2 (PORTICO 4 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	40.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	40.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	1600 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	3	Número de Disp. X
N_y	3	Número de Disp. Y
N	8	Número de Varillas
Φ_x	18 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	18 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	18 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	20.36 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.27%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	15.10 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	15.10 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	13.30 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	13.30 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	100 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.10 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.10 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 40.64 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

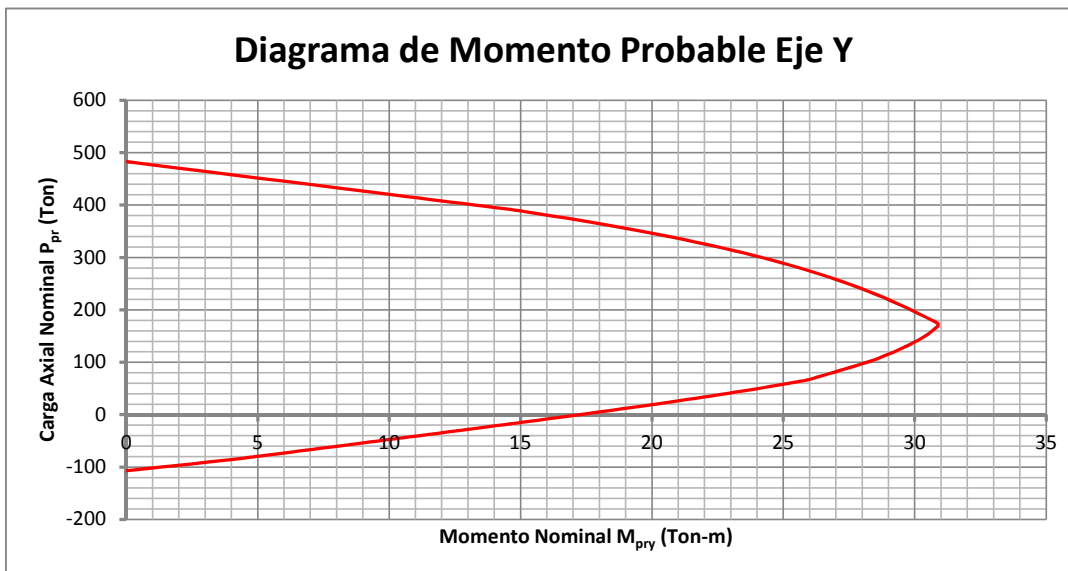
V_{ux} 10.12 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

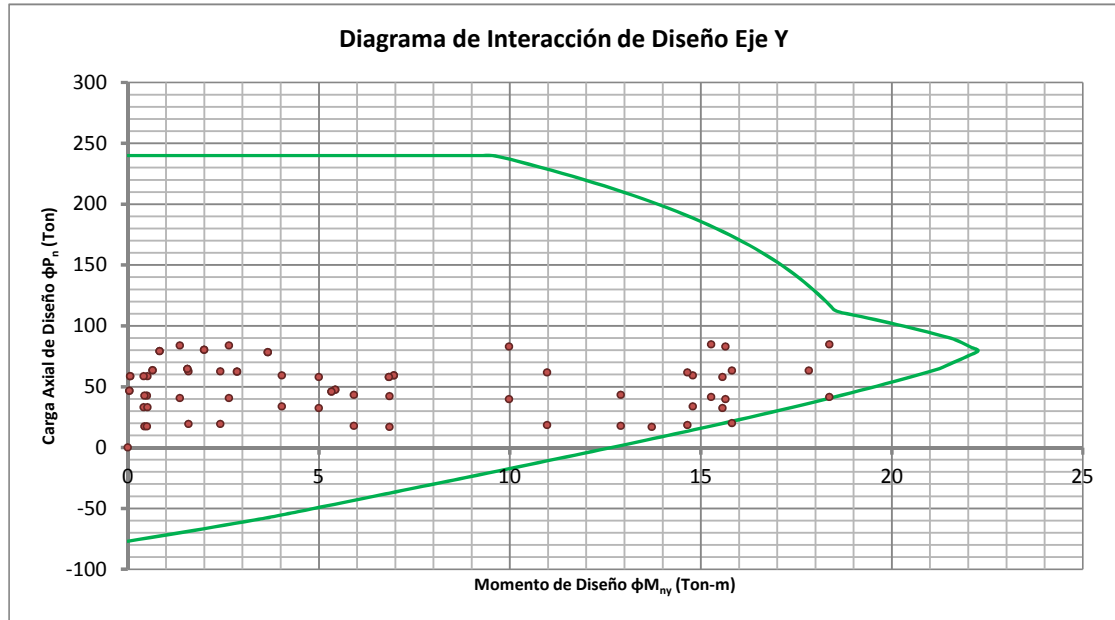
$M_{prmax,y}$ 27.19 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 15.10 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
64.63	1.56	239.96	21.22	0.27	OK
63.50	0.65	239.96	21.09	0.26	OK
62.37	2.86	231.76	20.97	0.27	OK
80.20	2.00	239.96	22.21	0.33	OK
79.23	0.83	239.96	22.24	0.33	OK
78.26	3.67	230.34	22.18	0.34	OK
41.54	15.28		18.50	0.83	OK
40.58	2.65		18.38	0.14	OK
39.61	15.65		18.25	0.86	OK
84.75	18.37	95.97	21.93	0.88	OK
83.78	1.36	239.96	21.99	0.35	OK
82.81	9.99	144.10	22.05	0.57	OK
19.22	2.42		15.48	0.16	OK
18.49	14.66		15.37	0.95	OK
63.15	17.83	78.68	21.05	0.85	OK
62.42	1.59	239.96	20.98	0.26	OK
61.70	10.98	107.75	20.90	0.57	OK
47.44	5.43	149.56	19.24	0.32	OK

46.63	0.05	239.96	19.14	0.19	OK
45.83	5.34	147.76	19.04	0.31	OK
59.26	6.96	146.81	20.63	0.40	OK
58.57	0.06	239.96	20.55	0.24	OK
57.88	6.84	146.25	20.47	0.40	OK
33.78	4.04		17.49	0.23	OK
33.09	0.42		17.40	0.02	OK
32.40	15.57		17.30	0.90	OK
59.16	14.79	87.07	20.62	0.72	OK
58.47	0.52	239.96	20.54	0.24	OK
57.78	5.00	178.85	20.46	0.32	OK
17.81	5.92		15.28	0.39	OK
17.29	0.44		15.20	0.03	OK
16.77	13.72		15.13	0.91	OK
43.19	12.91		18.71	0.69	OK
42.67	0.50		18.64	0.03	OK
42.15	6.85		18.58	0.37	OK
64.63	1.56	239.96	21.22	0.27	OK
63.50	0.65	239.96	21.09	0.26	OK
62.37	2.86	231.76	20.97	0.27	OK
80.20	2.00	239.96	22.21	0.33	OK
79.23	0.83	239.96	22.24	0.33	OK
78.26	3.67	230.34	22.18	0.34	OK
41.54	18.37		18.50	0.99	OK
40.58	1.36		18.38	0.07	OK
39.61	9.99		18.25	0.55	OK
84.75	15.28	106.99	21.93	0.79	OK
83.78	2.65	239.96	21.99	0.35	OK
82.81	15.65	104.22	22.05	0.79	OK
19.22	1.59		15.48	0.10	OK
18.49	10.98		15.37	0.71	OK
63.15	15.82	86.94	21.05	0.75	OK
62.42	2.42	239.96	20.98	0.26	OK
61.70	14.66	90.42	20.90	0.70	OK
47.44	5.43	149.56	19.24	0.32	OK
46.63	0.05	239.96	19.14	0.19	OK
45.83	5.34	147.76	19.04	0.31	OK
59.26	6.96	146.81	20.63	0.40	OK
58.57	0.06	239.96	20.55	0.24	OK
57.88	6.84	146.25	20.47	0.40	OK
33.78	14.79		17.49	0.85	OK
33.09	0.52		17.40	0.03	OK
32.40	5.00		17.30	0.29	OK
59.16	4.04	201.47	20.62	0.29	OK
58.47	0.42	239.96	20.54	0.24	OK
57.78	15.57	82.03	20.46	0.76	OK

17.81	12.91		15.28	0.85	OK
17.29	0.50		15.20	0.03	OK
16.77	6.85		15.13	0.45	OK
43.19	5.92		18.71	0.32	OK
42.67	0.44		18.64	0.02	OK
42.15	13.72		18.58	0.74	OK

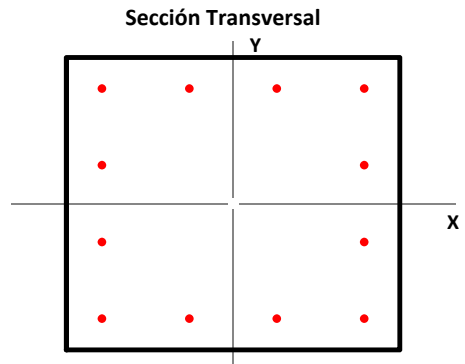
COLUMNA 45X45 Pisos 3-4 (PORTICO 4 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	45.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	45.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	2025 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	4	Número de Disp. X
N_y	4	Número de Disp. Y
N	12	Número de Varillas
Φ_x	16 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	16 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	16 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	24.13 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.19%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.80 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.80 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	10.20 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	10.20 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Ultima
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimios de Confinamiento

s_{max}	100 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.06 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.06 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 46.20 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

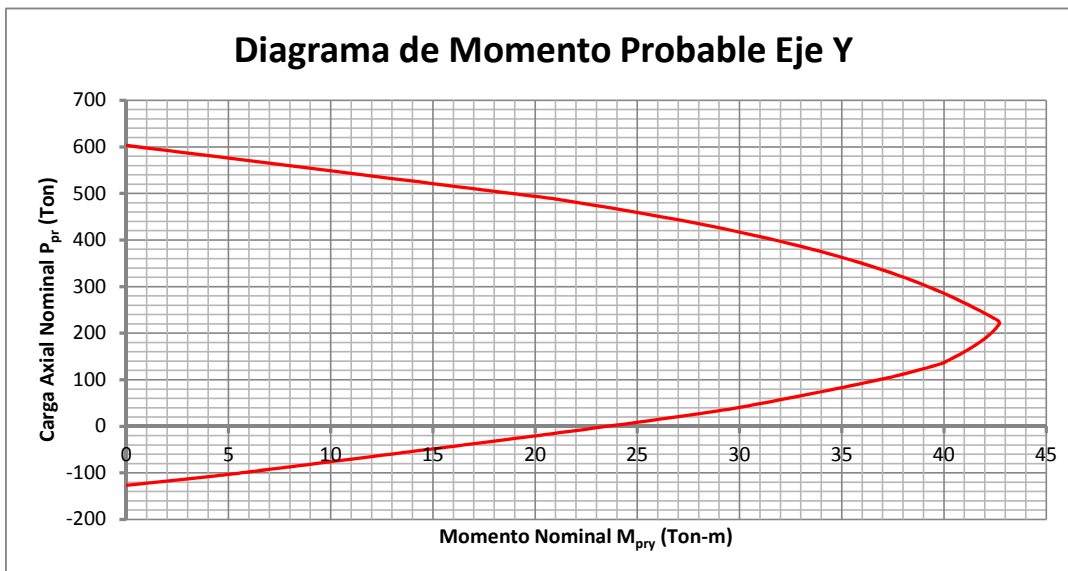
V_{ux} 10.72 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

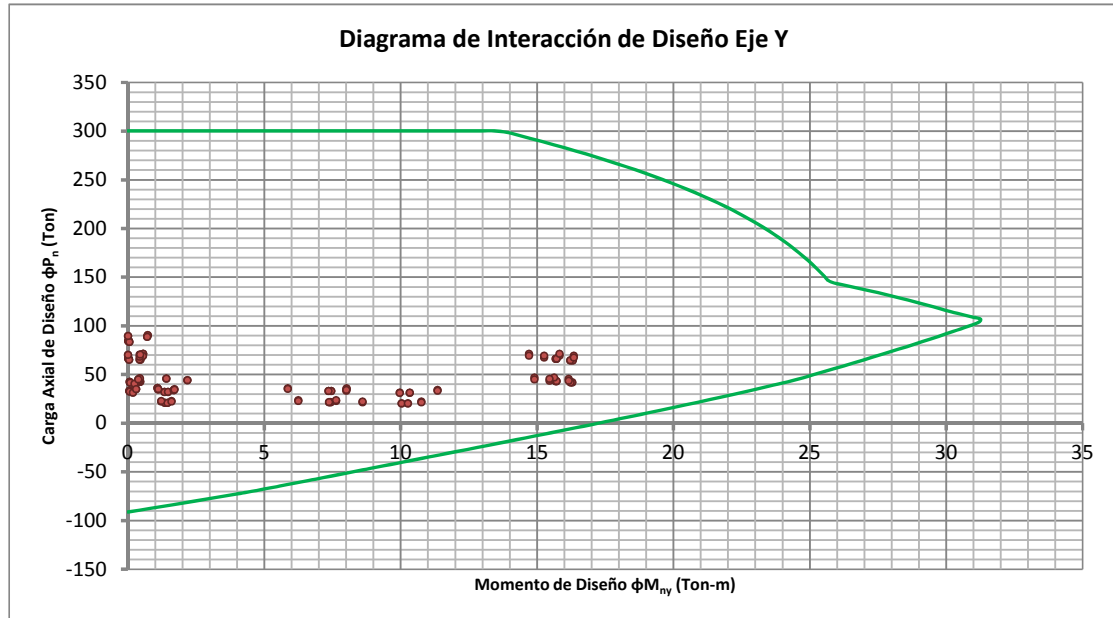
$M_{prmax,y}$ 35.80 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 19.89 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
71.09	0.56	300.32	27.68	0.24	OK
70.07	0.01	300.32	27.56	0.23	OK
69.05	0.55	300.32	27.44	0.23	OK
90.24	0.72	300.32	29.83	0.30	OK
89.37	0.01	300.32	29.73	0.30	OK
88.49	0.71	300.32	29.64	0.29	OK
69.11	15.82	125.52	27.45	0.58	OK
68.24	0.45	300.32	27.35	0.23	OK
67.36	15.26	126.33	27.25	0.56	OK
71.08	14.71	133.41	27.68	0.53	OK
70.20	0.43	300.32	27.58	0.23	OK
69.33	16.35	123.20	27.48	0.59	OK
44.72	15.63		24.49	0.64	OK
44.07	0.44		24.41	0.02	OK
43.41	15.45		24.32	0.64	OK
46.68	14.90		24.74	0.60	OK
46.03	0.43		24.66	0.02	OK
45.37	16.16		24.57	0.66	OK

35.93	1.08		23.18	0.05	OK
34.91	0.30		23.02	0.01	OK
33.89	1.68		22.87	0.07	OK
45.66	1.41		24.61	0.06	OK
44.79	0.39		24.50	0.02	OK
43.91	2.18		24.39	0.09	OK
35.09	8.02		23.05	0.35	OK
34.22	1.11		22.92	0.05	OK
33.34	8.01		22.78	0.35	OK
35.79	5.86		23.16	0.25	OK
34.92	1.71		23.03	0.07	OK
34.04	11.35		22.89	0.50	OK
22.75	7.63		21.09	0.36	OK
22.09	1.22		20.98	0.06	OK
21.43	8.60		20.87	0.41	OK
23.45	6.24		21.20	0.29	OK
22.79	1.60		21.10	0.08	OK
22.14	10.76		20.99	0.51	OK
67.09	0.02	300.32	27.22	0.22	OK
66.07	0.01	300.32	27.09	0.22	OK
65.05	0.04	300.32	26.97	0.22	OK
85.04	0.02	300.32	29.26	0.28	OK
84.16	0.02	300.32	29.16	0.28	OK
83.29	0.06	300.32	29.07	0.28	OK
66.01	15.72	122.43	27.09	0.58	OK
65.13	0.43	300.32	26.98	0.22	OK
64.26	16.22	117.85	26.88	0.60	OK
66.21	15.68	122.85	27.11	0.58	OK
65.34	0.46	300.32	27.01	0.22	OK
64.46	16.31	117.67	26.90	0.61	OK
43.03	15.71		24.26	0.65	OK
42.37	0.43		24.16	0.02	OK
41.72	16.23		24.06	0.67	OK
43.23	15.69		24.29	0.65	OK
42.57	0.45		24.19	0.02	OK
41.92	16.29		24.09	0.68	OK
33.34	0.05		22.78	0.00	OK
32.32	0.07		22.62	0.00	OK
31.29	0.18		22.46	0.01	OK
42.29	0.07		24.15	0.00	OK
41.42	0.09		24.02	0.00	OK
40.54	0.24		23.89	0.01	OK
32.81	7.35		22.70	0.32	OK
31.94	1.47		22.56	0.07	OK
31.06	10.33		22.42	0.46	OK
32.91	7.46		22.71	0.33	OK

32.03	1.34		22.57	0.06	OK
31.16	9.97		22.44	0.44	OK
21.38	7.37		20.86	0.35	OK
20.73	1.45		20.76	0.07	OK
20.07	10.27		20.65	0.50	OK
21.48	7.44		20.88	0.36	OK
20.82	1.37		20.77	0.07	OK
20.17	10.03		20.67	0.49	OK
67.09	0.02	300.32	27.22	0.22	OK
66.07	0.01	300.32	27.09	0.22	OK
65.05	0.04	300.32	26.97	0.22	OK
85.04	0.02	300.32	29.26	0.28	OK
84.16	0.02	300.32	29.16	0.28	OK
83.29	0.06	300.32	29.07	0.28	OK
66.01	15.68	122.61	27.09	0.58	OK
65.13	0.46	300.32	26.98	0.22	OK
64.26	16.31	117.42	26.88	0.61	OK
66.21	15.72	122.67	27.11	0.58	OK
65.34	0.43	300.32	27.01	0.22	OK
64.46	16.22	118.10	26.90	0.60	OK
43.03	15.69		24.26	0.65	OK
42.37	0.45		24.16	0.02	OK
41.72	16.29		24.06	0.68	OK
43.23	15.71		24.29	0.65	OK
42.57	0.43		24.19	0.02	OK
41.92	16.23		24.09	0.67	OK
33.34	0.05		22.78	0.00	OK
32.32	0.07		22.62	0.00	OK
31.29	0.18		22.46	0.01	OK
42.29	0.07		24.15	0.00	OK
41.42	0.09		24.02	0.00	OK
40.54	0.24		23.89	0.01	OK
32.81	7.46		22.70	0.33	OK
31.94	1.34		22.56	0.06	OK
31.06	9.97		22.42	0.44	OK
32.91	7.35		22.71	0.32	OK
32.03	1.47		22.57	0.07	OK
31.16	10.33		22.44	0.46	OK
21.38	7.44		20.86	0.36	OK
20.73	1.37		20.76	0.07	OK
20.07	10.03		20.65	0.49	OK
21.48	7.37		20.88	0.35	OK
20.82	1.45		20.77	0.07	OK
20.17	10.27		20.67	0.50	OK
71.09	0.56	300.32	27.68	0.24	OK
70.07	0.01	300.32	27.56	0.23	OK
69.05	0.55	300.32	27.44	0.23	OK

90.24	0.72	300.32	29.83	0.30	OK
89.37	0.01	300.32	29.73	0.30	OK
88.49	0.71	300.32	29.64	0.29	OK
69.11	14.71	131.24	27.45	0.54	OK
68.24	0.43	300.32	27.35	0.23	OK
67.36	16.35	120.94	27.25	0.60	OK
71.08	15.82	127.72	27.68	0.57	OK
70.20	0.45	300.32	27.58	0.23	OK
69.33	15.26	128.58	27.48	0.56	OK
44.72	14.90		24.49	0.61	OK
44.07	0.43		24.41	0.02	OK
43.41	16.16		24.32	0.66	OK
46.68	15.63		24.74	0.63	OK
46.03	0.44		24.66	0.02	OK
45.37	15.45		24.57	0.63	OK
35.93	1.08		23.18	0.05	OK
34.91	0.30		23.02	0.01	OK
33.89	1.68		22.87	0.07	OK
45.66	1.41		24.61	0.06	OK
44.79	0.39		24.50	0.02	OK
43.91	2.18		24.39	0.09	OK
35.09	5.86		23.05	0.25	OK
34.22	1.71		22.92	0.07	OK
33.34	11.35		22.78	0.50	OK
35.79	8.02		23.16	0.35	OK
34.92	1.11		23.03	0.05	OK
34.04	8.01		22.89	0.35	OK
22.75	6.24		21.09	0.30	OK
22.09	1.60		20.98	0.08	OK
21.43	10.76		20.87	0.52	OK
23.45	7.63		21.20	0.36	OK
22.79	1.22		21.10	0.06	OK
22.14	8.60		20.99	0.41	OK

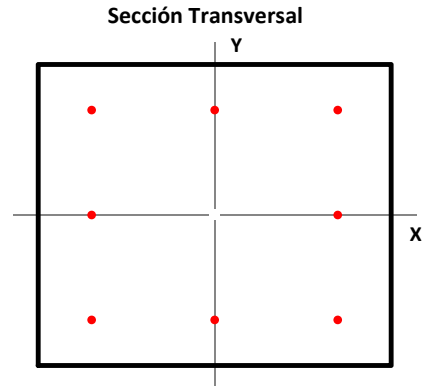
COLUMNA 35x35 Pisos 3-4 (PORTICO 4 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	35.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	35.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	4.00 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	1225 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	3.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	3.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	2.75 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	2.75 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	3	Número de Disp. X
N_y	3	Número de Disp. Y
N	8	Número de Varillas
Φ_x	16 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	16 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	16 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	16.08 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.31%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	12.20 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	12.20 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	10.60 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	10.60 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	88 mm	ESTADO	ERROR	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.67 cm ²	ESTADO	ERROR	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.67 cm ²	ESTADO	ERROR	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 26.84 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

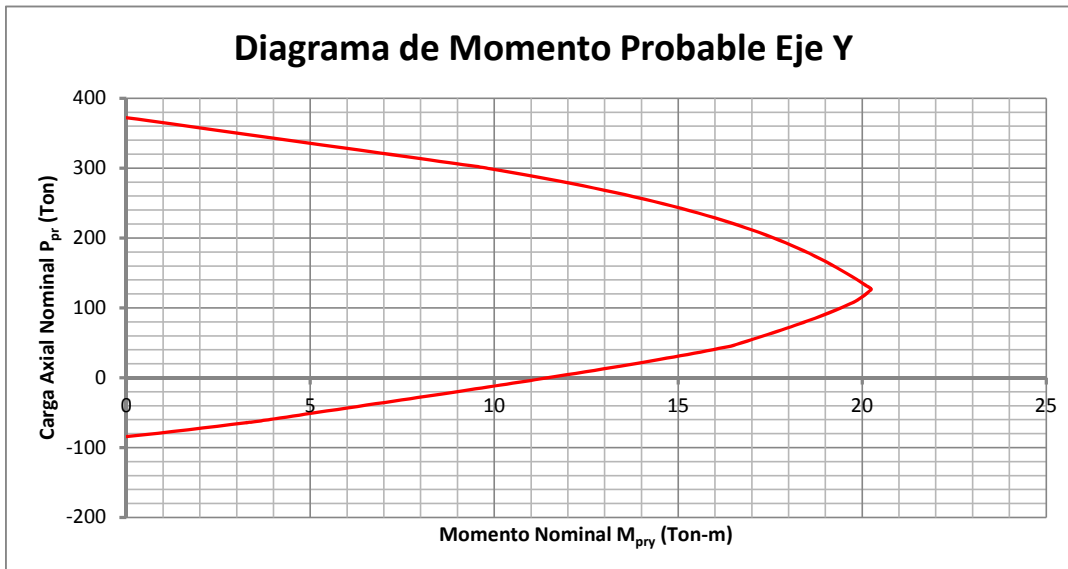
V_{ux} 6.74 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

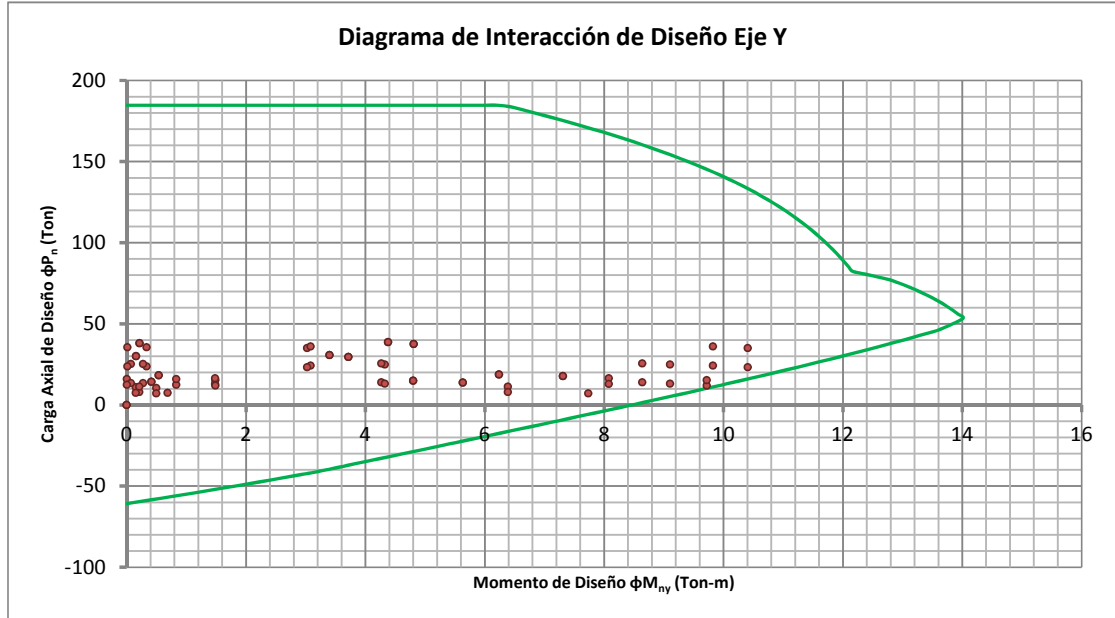
$M_{prmax,y}$ 15.80 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 8.78 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
30.70	3.40		12.05	0.28	OK
30.09	0.16		11.99	0.01	OK
29.47	3.71		11.92	0.31	OK
38.61	4.38	102.65	12.87	0.38	OK
38.08	0.21	184.74	12.82	0.21	OK
37.55	4.81	93.00	12.76	0.40	OK
24.27	3.08		11.35	0.27	OK
23.74	0.33		11.29	0.03	OK
23.21	10.40		11.23	0.93	OK
36.04	9.82	50.99	12.61	0.78	OK
35.52	0.01	184.74	12.56	0.19	OK
34.99	3.02	125.06	12.50	0.28	OK
13.85	4.27		10.15	0.42	OK
13.46	0.27		10.10	0.03	OK
13.06	9.10		10.05	0.91	OK
25.62	8.64		11.50	0.75	OK
25.23	0.07		11.46	0.01	OK
24.83	4.33		11.41	0.38	OK

14.91	4.80		10.27	0.47	OK
14.30	0.42		10.20	0.04	OK
13.68	5.63		10.13	0.56	OK
18.76	6.24		10.72	0.58	OK
18.23	0.54		10.66	0.05	OK
17.70	7.31		10.60	0.69	OK
12.94	1.48		10.04	0.15	OK
12.41	0.83		9.98	0.08	OK
11.88	9.72		9.91	0.98	OK
16.37	8.08		10.44	0.77	OK
15.84	0.00		10.38	0.00	OK
15.31	1.49		10.32	0.14	OK
7.87	0.21		9.43	0.02	OK
7.48	0.68		9.38	0.07	OK
7.08	7.74		9.33	0.83	OK
11.30	6.39		9.84	0.65	OK
10.90	0.15		9.80	0.02	OK
10.51	0.50		9.75	0.05	OK
30.70	3.40		12.05	0.28	OK
30.09	0.16		11.99	0.01	OK
29.47	3.71		11.92	0.31	OK
38.61	4.38	102.65	12.87	0.38	OK
38.08	0.21	184.74	12.82	0.21	OK
37.55	4.81	93.00	12.76	0.40	OK
24.27	9.82		11.35	0.87	OK
23.74	0.01		11.29	0.00	OK
23.21	3.02		11.23	0.27	OK
36.04	3.08	125.94	12.61	0.29	OK
35.52	0.33	184.74	12.56	0.19	OK
34.99	10.40	45.55	12.50	0.83	OK
13.85	8.64		10.15	0.85	OK
13.46	0.07		10.10	0.01	OK
13.06	4.33		10.05	0.43	OK
25.62	4.27		11.50	0.37	OK
25.23	0.27		11.46	0.02	OK
24.83	9.10		11.41	0.80	OK
14.91	4.80		10.27	0.47	OK
14.30	0.42		10.20	0.04	OK
13.68	5.63		10.13	0.56	OK
18.76	6.24		10.72	0.58	OK
18.23	0.54		10.66	0.05	OK
17.70	7.31		10.60	0.69	OK
12.94	8.08		10.04	0.80	OK
12.41	0.00		9.98	0.00	OK
11.88	1.49		9.91	0.15	OK
16.37	1.48		10.44	0.14	OK

15.84	0.83		10.38	0.08	OK
15.31	9.72		10.32	0.94	OK
7.87	6.39		9.43	0.68	OK
7.48	0.15		9.38	0.02	OK
7.08	0.50		9.33	0.05	OK
11.30	0.21		9.84	0.02	OK
10.90	0.68		9.80	0.07	OK
10.51	7.74		9.75	0.79	OK

VIGA 35x60 Pisos 1-2 (PORTICO 4 PISOS)

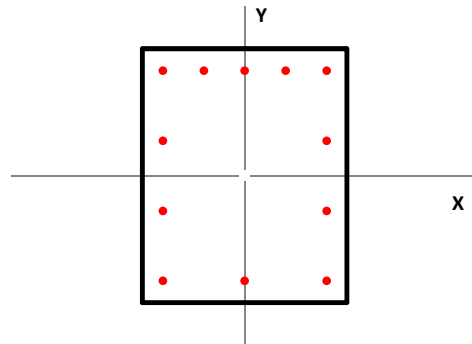
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	35.00 cm	Ancho de la Sección
h	60.00 cm	Altura de la Sección
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	2	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	137 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	--------	----	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	39.84 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	30.81 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	25.38 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	17.93 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	53.53 Ton-m	30.71 Ton-m	Momento Probable Maximo Izq.	
$M_{prmax,der}$	53.53 Ton-m	30.71 Ton-m	Momento Probable Maximo Der.	
V_{ex}	33.08 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima
A_{min}	6.39 cm ²	Área de Acero Mínima

$P_{max}=0.5P_b$	1.45%	Cuántia Long. Mínima
A_{max}	27.69 cm ²	Área de Acero Mínima

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-39.43 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1653	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.10%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	21.11 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	21.22 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	39.61 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	20.04 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0791	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.53%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	10.13 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	11.40 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	22.42 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.2 Sección Media

Superior	M_u	-11.33 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0438	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.29%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	5.60 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	11.40 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	22.42 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	18.61 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0732	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.49%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	9.37 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	11.40 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	22.42 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.3 Extremo Derecho

Superior	M_u	-39.43 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1653	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.10%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	21.11 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	21.22 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	39.61 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	20.04 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0791	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.53%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	10.13 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	11.40 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	22.42 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

VIGA 25x60 Pisos 3-4 (PORTICO 4 PISOS)

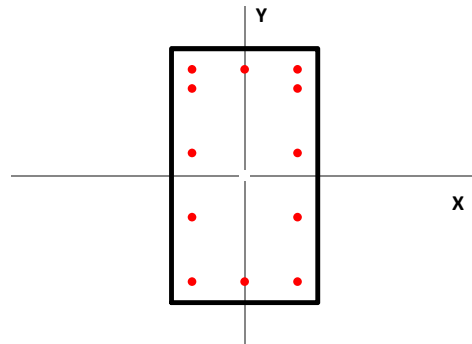
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	25.00 cm	Ancho de la Sección
h	60.00 cm	Altura de la Sección
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	2	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	132 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	--------	----	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	34.94 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	26.22 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	21.56 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	12.64 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	36.89 Ton-m	20.73 Ton-m	Momento Probable Maximo Izq.	
$M_{prmax,der}$	36.89 Ton-m	20.73 Ton-m	Momento Probable Maximo Der.	
V_{ex}	28.65 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima
A_{min}	4.40 cm ²	Área de Acero Mínima

$P_{max}=0.5P_b$	1.45%	Cuántia Long. Mínima
A_{max}	19.09 cm ²	Área de Acero Mínima

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-26.60 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1678	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.12%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	14.78 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	15.24 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	27.33 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	9.77 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0527	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.35%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	4.84 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	7.63 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	15.12 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.2 Sección Media

Superior	M_u	-5.34 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0284	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.19%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	2.61 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	7.63 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	15.12 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	14.15 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0775	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.52%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	7.12 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	7.63 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	15.12 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.3 Extremo Derecho

Superior	M_u	-26.60 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1678	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.12%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	14.78 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	15.24 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	27.33 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	9.77 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0527	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.35%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	4.84 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	7.63 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	15.12 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

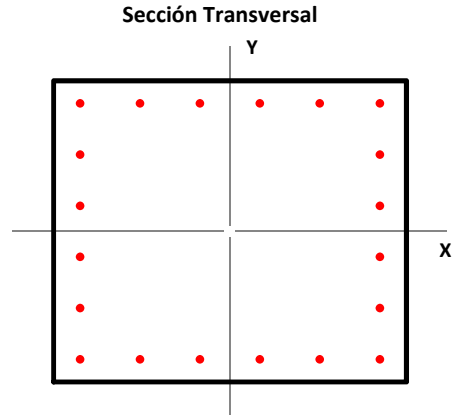
COLUMNA 65x65 Pisos 1-2-3 (PORTICO 8 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	65.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	65.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	4225 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	6	Número de Ramas X
N_{Ry}	6	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	4.71 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	4.71 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	6	Número de Disp. X
N_y	6	Número de Disp. Y
N	20	Número de Varillas
Φ_x	18 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	18 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	18 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	50.89 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.20%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.04 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.04 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	9.24 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	9.24 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	108 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.48 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.48 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 91.29 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

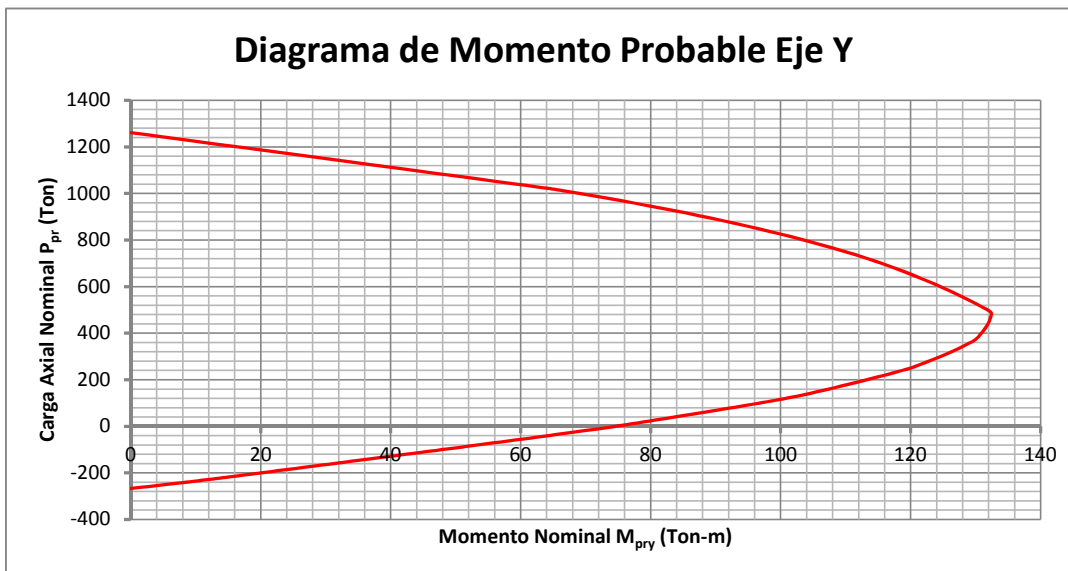
V_{ux} 31.73 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

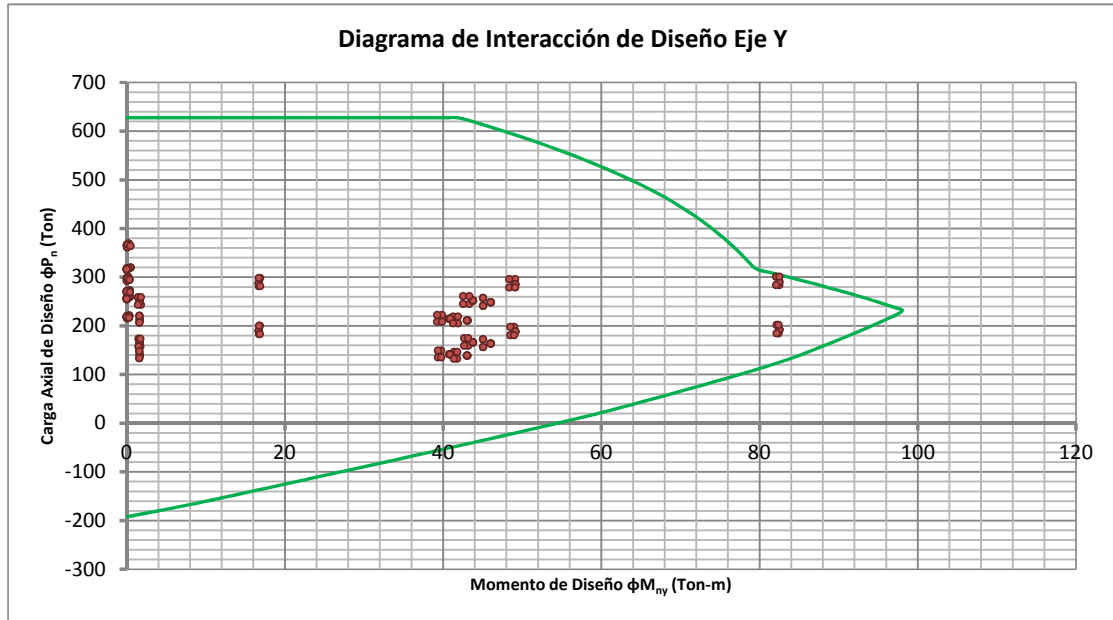
$M_{prmax,y}$ 129.79 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 72.11 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
300.36	0.21	627.74	83.61	0.48	OK
297.41	0.09	627.74	84.33	0.47	OK
294.47	0.38	627.74	85.04	0.47	OK
369.02	0.26	627.74	76.26	0.59	OK
366.50	0.11	627.74	76.43	0.58	OK
363.97	0.48	627.74	76.60	0.58	OK
283.81	82.49	293.43	87.51	0.97	OK
281.29	16.71	627.74	88.08	0.45	OK
278.76	48.35	417.95	88.64	0.67	OK
300.82	82.08	303.54	83.50	0.99	OK
298.30	16.88	627.74	84.12	0.48	OK
295.77	49.10	430.16	84.73	0.69	OK
184.58	82.42	215.77	91.96	0.90	OK
182.69	16.74	573.47	91.68	0.32	OK
180.80	48.48	306.28	91.40	0.59	OK
201.59	82.15	238.04	94.39	0.87	OK
199.70	16.85	589.14	94.13	0.34	OK
197.81	48.97	320.29	93.86	0.62	OK

259.34	0.39	627.74	92.88	0.41	OK
257.28	0.19	627.74	93.31	0.41	OK
255.22	0.01	627.74	93.72	0.41	OK
319.67	0.49	627.74	79.36	0.51	OK
317.90	0.24	627.74	79.55	0.51	OK
316.14	0.00	627.74	79.75	0.50	OK
244.76	43.29	412.49	95.76	0.59	OK
243.00	1.79	627.74	96.09	0.39	OK
241.23	45.06	397.25	96.42	0.61	OK
260.68	42.53	434.96	92.61	0.60	OK
258.92	1.42	627.74	92.97	0.41	OK
257.15	45.07	415.08	93.34	0.62	OK
158.76	43.16	304.11	88.07	0.52	OK
157.43	1.73	627.74	87.86	0.25	OK
156.11	45.06	294.56	87.66	0.53	OK
174.68	42.66	323.76	90.49	0.54	OK
173.35	1.48	627.74	90.29	0.28	OK
172.03	45.07	309.94	90.09	0.56	OK
220.86	0.32	627.74	97.01	0.35	OK
218.80	0.00	627.74	96.74	0.35	OK
216.74	0.31	627.74	96.47	0.35	OK
272.82	0.41	627.74	89.99	0.43	OK
271.05	0.00	627.74	90.38	0.43	OK
269.29	0.40	627.74	90.77	0.43	OK
208.43	39.24	395.00	95.34	0.53	OK
206.66	1.60	627.74	95.10	0.33	OK
204.90	41.87	372.12	94.86	0.55	OK
222.38	39.87	408.74	97.21	0.54	OK
220.62	1.61	627.74	96.98	0.35	OK
218.86	41.26	394.62	96.75	0.55	OK
135.00	39.35	292.97	84.30	0.47	OK
133.68	1.60	627.74	84.06	0.21	OK
132.36	41.77	280.03	83.82	0.50	OK
148.96	39.76	307.02	86.54	0.49	OK
147.64	1.61	627.74	86.33	0.24	OK
146.31	41.37	297.87	86.12	0.49	OK
298.31	0.02	627.74	84.11	0.48	OK
295.37	0.01	627.74	84.82	0.47	OK
292.42	0.03	627.74	85.52	0.47	OK
366.39	0.02	627.74	76.44	0.58	OK
363.86	0.01	627.74	76.61	0.58	OK
361.34	0.04	627.74	76.77	0.58	OK
290.10	82.48	296.98	86.07	0.98	OK
287.57	16.71	627.74	86.65	0.46	OK
285.05	49.15	419.58	87.23	0.68	OK
290.47	82.52	297.11	85.98	0.98	OK

287.95	16.69	627.74	86.57	0.46	OK
285.42	49.09	420.33	87.15	0.68	OK
191.58	82.49	226.87	92.97	0.89	OK
189.69	16.71	581.09	92.70	0.33	OK
187.80	49.14	310.10	92.43	0.61	OK
191.96	82.51	227.32	93.03	0.89	OK
190.06	16.70	581.58	92.76	0.33	OK
188.17	49.10	310.55	92.48	0.61	OK
258.23	0.02	627.74	93.11	0.41	OK
256.17	0.02	627.74	93.53	0.41	OK
254.11	0.02	627.74	93.95	0.40	OK
318.22	0.03	627.74	79.52	0.51	OK
316.46	0.03	627.74	79.71	0.50	OK
314.70	0.03	627.74	79.93	0.50	OK
251.44	43.74	417.16	94.48	0.60	OK
249.67	1.62	627.74	94.82	0.40	OK
247.91	46.00	399.08	95.16	0.62	OK
251.79	43.79	417.24	94.41	0.60	OK
250.03	1.66	627.74	94.75	0.40	OK
248.26	46.05	399.23	95.09	0.62	OK
165.83	43.75	308.84	89.16	0.54	OK
164.50	1.63	627.74	88.95	0.26	OK
163.18	46.01	298.31	88.75	0.55	OK
166.18	43.78	309.06	89.21	0.54	OK
164.86	1.66	627.74	89.01	0.26	OK
163.53	46.04	298.57	88.80	0.55	OK
219.82	0.06	627.74	96.87	0.35	OK
217.77	0.00	627.74	96.60	0.35	OK
215.71	0.05	627.74	96.33	0.34	OK
271.46	0.07	627.74	90.29	0.43	OK
269.70	0.00	627.74	90.68	0.43	OK
267.94	0.07	627.74	91.06	0.43	OK
214.21	40.88	391.26	96.13	0.55	OK
212.44	1.67	627.74	95.89	0.34	OK
210.68	43.00	372.47	95.65	0.57	OK
214.54	40.77	392.45	96.17	0.55	OK
212.77	1.67	627.74	95.93	0.34	OK
211.01	43.11	372.23	95.69	0.57	OK
141.15	40.86	294.10	85.29	0.48	OK
139.83	1.67	627.74	85.08	0.22	OK
138.50	43.02	282.62	84.87	0.51	OK
141.48	40.79	294.77	85.35	0.48	OK
140.16	1.67	627.74	85.14	0.22	OK
138.84	43.09	282.76	84.92	0.51	OK
298.31	0.02	627.74	84.11	0.48	OK
295.37	0.01	627.74	84.82	0.47	OK
292.42	0.03	627.74	85.52	0.47	OK

366.39	0.02	627.74	76.44	0.58	OK
363.86	0.01	627.74	76.61	0.58	OK
361.34	0.04	627.74	76.77	0.58	OK
290.10	82.52	296.91	86.07	0.98	OK
287.57	16.69	627.74	86.65	0.46	OK
285.05	49.09	419.96	87.23	0.68	OK
290.47	82.48	297.18	85.98	0.98	OK
287.95	16.71	627.74	86.57	0.46	OK
285.42	49.15	419.95	87.15	0.68	OK
191.58	82.51	226.79	92.97	0.89	OK
189.69	16.70	581.21	92.70	0.33	OK
187.80	49.10	310.24	92.43	0.61	OK
191.96	82.49	227.40	93.03	0.89	OK
190.06	16.71	581.47	92.76	0.33	OK
188.17	49.14	310.41	92.48	0.61	OK
258.23	0.02	627.74	93.11	0.41	OK
256.17	0.02	627.74	93.53	0.41	OK
254.11	0.02	627.74	93.95	0.40	OK
318.22	0.03	627.74	79.52	0.51	OK
316.46	0.03	627.74	79.71	0.50	OK
314.70	0.03	627.74	79.93	0.50	OK
251.44	43.79	416.85	94.48	0.60	OK
249.67	1.66	627.74	94.82	0.40	OK
247.91	46.05	398.83	95.16	0.62	OK
251.79	43.74	417.55	94.41	0.60	OK
250.03	1.62	627.74	94.75	0.40	OK
248.26	46.00	399.48	95.09	0.62	OK
165.83	43.78	308.72	89.16	0.54	OK
164.50	1.66	627.74	88.95	0.26	OK
163.18	46.04	298.22	88.75	0.55	OK
166.18	43.75	309.17	89.21	0.54	OK
164.86	1.63	627.74	89.01	0.26	OK
163.53	46.01	298.66	88.80	0.55	OK
219.82	0.06	627.74	96.87	0.35	OK
217.77	0.00	627.74	96.60	0.35	OK
215.71	0.05	627.74	96.33	0.34	OK
271.46	0.07	627.74	90.29	0.43	OK
269.70	0.00	627.74	90.68	0.43	OK
267.94	0.07	627.74	91.06	0.43	OK
214.21	40.77	392.02	96.13	0.55	OK
212.44	1.67	627.74	95.89	0.34	OK
210.68	43.11	371.79	95.65	0.57	OK
214.54	40.88	391.69	96.17	0.55	OK
212.77	1.67	627.74	95.93	0.34	OK
211.01	43.00	372.91	95.69	0.57	OK
141.15	40.79	294.38	85.29	0.48	OK
139.83	1.67	627.74	85.08	0.22	OK

138.50	43.09	282.36	84.87	0.51	OK
141.48	40.86	294.48	85.35	0.48	OK
140.16	1.67	627.74	85.14	0.22	OK
138.84	43.02	283.01	84.92	0.51	OK
300.36	0.21	627.74	83.61	0.48	OK
297.41	0.09	627.74	84.33	0.47	OK
294.47	0.38	627.74	85.04	0.47	OK
369.02	0.26	627.74	76.26	0.59	OK
366.50	0.11	627.74	76.43	0.58	OK
363.97	0.48	627.74	76.60	0.58	OK
283.81	82.08	294.24	87.51	0.96	OK
281.29	16.88	627.74	88.08	0.45	OK
278.76	49.10	413.67	88.64	0.67	OK
300.82	82.49	302.76	83.50	0.99	OK
298.30	16.71	627.74	84.12	0.48	OK
295.77	48.35	434.39	84.73	0.68	OK
184.58	82.15	216.79	91.96	0.89	OK
182.69	16.85	572.16	91.68	0.32	OK
180.80	48.97	304.70	91.40	0.59	OK
201.59	82.42	237.52	94.39	0.87	OK
199.70	16.74	590.36	94.13	0.34	OK
197.81	48.48	322.81	93.86	0.61	OK
259.34	0.39	627.74	92.88	0.41	OK
257.28	0.19	627.74	93.31	0.41	OK
255.22	0.01	627.74	93.72	0.41	OK
319.67	0.49	627.74	79.36	0.51	OK
317.90	0.24	627.74	79.55	0.51	OK
316.14	0.00	627.74	79.75	0.50	OK
244.76	42.53	417.46	95.76	0.59	OK
243.00	1.42	627.74	96.09	0.39	OK
241.23	45.07	397.19	96.42	0.61	OK
260.68	43.29	430.05	92.61	0.61	OK
258.92	1.79	627.74	92.97	0.41	OK
257.15	45.06	415.14	93.34	0.62	OK
158.76	42.66	305.95	88.07	0.52	OK
157.43	1.48	627.74	87.86	0.25	OK
156.11	45.07	294.54	87.66	0.53	OK
174.68	43.16	320.72	90.49	0.54	OK
173.35	1.73	627.74	90.29	0.28	OK
172.03	45.06	309.96	90.09	0.56	OK
220.86	0.32	627.74	97.01	0.35	OK
218.80	0.00	627.74	96.74	0.35	OK
216.74	0.31	627.74	96.47	0.35	OK
272.82	0.41	627.74	89.99	0.43	OK
271.05	0.00	627.74	90.38	0.43	OK
269.29	0.40	627.74	90.77	0.43	OK
208.43	39.87	390.60	95.34	0.53	OK

206.66	1.61	627.74	95.10	0.33	OK
204.90	41.26	376.23	94.86	0.54	OK
222.38	39.24	413.16	97.21	0.54	OK
220.62	1.60	627.74	96.98	0.35	OK
218.86	41.87	390.53	96.75	0.56	OK
135.00	39.76	291.31	84.30	0.47	OK
133.68	1.61	627.74	84.06	0.21	OK
132.36	41.37	281.58	83.82	0.49	OK
148.96	39.35	308.62	86.54	0.48	OK
147.64	1.60	627.74	86.33	0.24	OK
146.31	41.77	296.35	86.12	0.49	OK

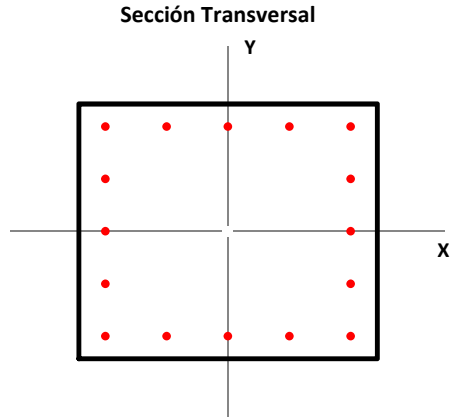
COLUMNA 55x55 Pisos 1-2-3 (PORTICO 8 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	55.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	55.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	3025 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	5	Número de Disp. X
N_y	5	Número de Disp. Y
N	16	Número de Varillas
Φ_x	18 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	18 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	18 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	40.72 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.35%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.30 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.30 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	9.50 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	9.50 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	108 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.00 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.00 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 57.34 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

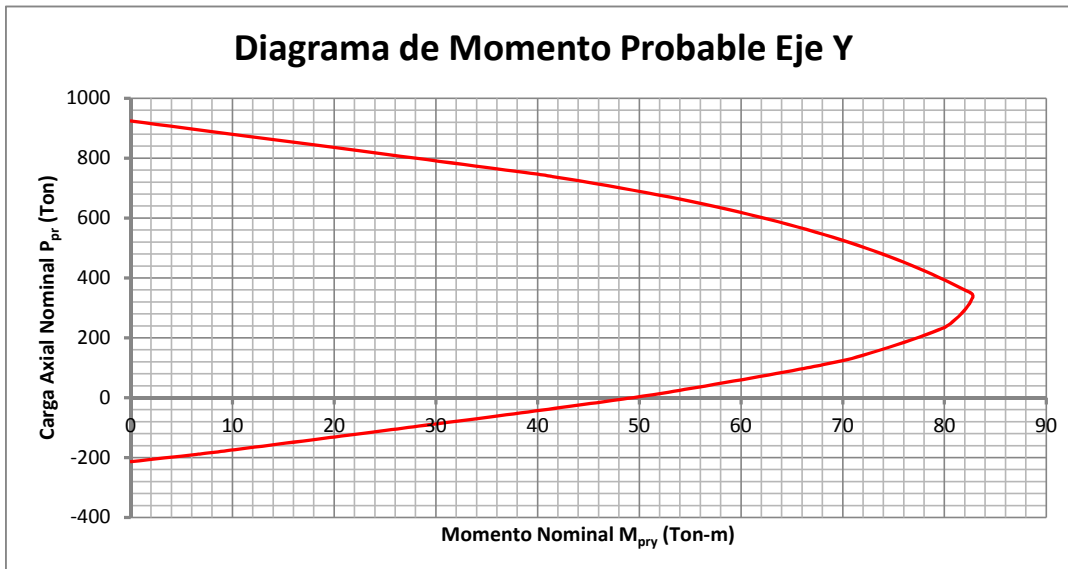
V_{ux} 19.35 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

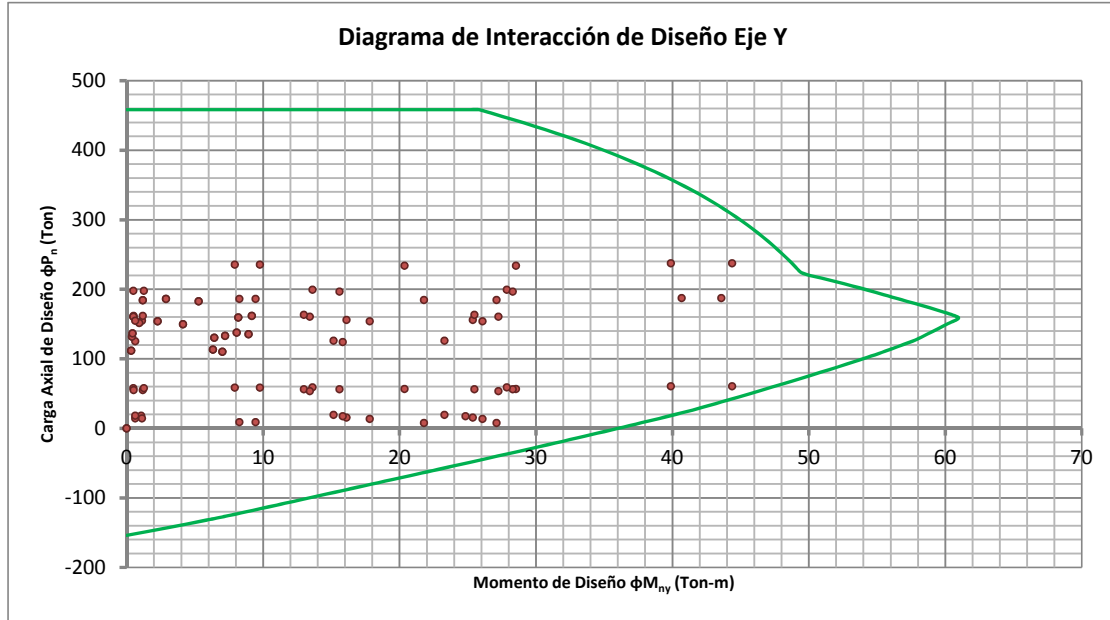
$M_{prmax,y}$ 80.14 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 44.52 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
153.90	2.27	458.26	60.53	0.34	OK
151.79	0.93	458.26	60.33	0.33	OK
149.68	4.14	458.26	60.12	0.33	OK
186.13	2.89	458.26	56.57	0.41	OK
184.32	1.19	458.26	56.90	0.40	OK
182.52	5.27	458.26	57.24	0.40	OK
60.33	39.89		47.47	0.84	OK
58.52	9.77		47.16	0.21	OK
56.72	28.53		46.85	0.61	OK
237.38	44.38	255.66	48.76	0.93	OK
235.57	7.93	458.26	48.85	0.51	OK
233.76	20.36	400.56	48.94	0.58	OK
9.05	9.45		37.93	0.25	OK
7.70	27.10		37.65	0.72	OK
187.46	43.59	217.58	56.34	0.86	OK
186.10	8.25	458.26	56.58	0.41	OK
184.75	21.79	347.36	56.82	0.53	OK
133.18	7.21	458.26	58.44	0.29	OK

131.71	0.39	458.26	58.29	0.29	OK
130.24	6.42	458.26	58.13	0.28	OK
161.81	9.18	457.53	60.66	0.35	OK
160.55	0.50	458.26	60.77	0.35	OK
159.29	8.18	458.26	60.88	0.35	OK
58.85	13.63		47.22	0.29	OK
57.59	0.49		47.00	0.01	OK
56.32	28.29		46.78	0.60	OK
199.25	27.86	314.01	54.23	0.63	OK
197.99	1.26	458.26	54.47	0.43	OK
196.73	15.61	414.89	54.70	0.47	OK
15.42	16.11		39.27	0.41	OK
14.47	0.63		39.07	0.02	OK
13.52	26.08		38.87	0.67	OK
155.82	25.38	283.24	60.72	0.55	OK
154.87	1.13	458.26	60.63	0.34	OK
153.93	17.82	350.88	60.54	0.44	OK
113.07	6.33	458.18	55.89	0.25	OK
111.59	0.34	458.26	55.69	0.24	OK
110.12	7.01	444.21	55.48	0.25	OK
137.72	8.06	454.02	58.91	0.30	OK
136.46	0.43	458.26	58.78	0.30	OK
135.20	8.93	439.74	58.65	0.31	OK
56.21	12.98		46.76	0.28	OK
54.95	1.19		46.55	0.03	OK
53.68	27.26		46.33	0.59	OK
163.12	25.48	291.64	60.52	0.56	OK
161.86	0.52	458.26	60.65	0.35	OK
160.60	13.42	407.09	60.76	0.39	OK
19.23	15.16		40.05	0.38	OK
18.28	1.07		39.86	0.03	OK
17.34	24.85		39.66	0.63	OK
126.14	23.30	258.02	57.67	0.49	OK
125.19	0.63	458.26	57.54	0.27	OK
124.25	15.83	332.38	57.42	0.37	OK
153.90	2.27	458.26	60.53	0.34	OK
151.79	0.93	458.26	60.33	0.33	OK
149.68	4.14	458.26	60.12	0.33	OK
186.13	2.89	458.26	56.57	0.41	OK
184.32	1.19	458.26	56.90	0.40	OK
182.52	5.27	458.26	57.24	0.40	OK
60.33	44.38		47.47	0.93	OK
58.52	7.93		47.16	0.17	OK
56.72	20.36		46.85	0.43	OK
237.38	39.89	276.89	48.76	0.86	OK
235.57	9.77	458.26	48.85	0.51	OK

233.76	28.53	340.80	48.94	0.69	OK
9.05	8.25		37.93	0.22	OK
7.70	21.79		37.65	0.58	OK
187.46	40.68	227.12	56.34	0.83	OK
186.10	9.45	458.26	56.58	0.41	OK
184.75	27.10	304.31	56.82	0.61	OK
133.18	7.21	458.26	58.44	0.29	OK
131.71	0.39	458.26	58.29	0.29	OK
130.24	6.42	458.26	58.13	0.28	OK
161.81	9.18	457.53	60.66	0.35	OK
160.55	0.50	458.26	60.77	0.35	OK
159.29	8.18	458.26	60.88	0.35	OK
58.85	27.86		47.22	0.59	OK
57.59	1.26		47.00	0.03	OK
56.32	15.61		46.78	0.33	OK
199.25	13.63	435.25	54.23	0.46	OK
197.99	0.49	458.26	54.47	0.43	OK
196.73	28.29	308.35	54.70	0.64	OK
15.42	25.38		39.27	0.65	OK
14.47	1.13		39.07	0.03	OK
13.52	17.82		38.87	0.46	OK
155.82	16.11	371.64	60.72	0.42	OK
154.87	0.63	458.26	60.63	0.34	OK
153.93	26.08	275.26	60.54	0.56	OK
113.07	6.33	458.18	55.89	0.25	OK
111.59	0.34	458.26	55.69	0.24	OK
110.12	7.01	444.21	55.48	0.25	OK
137.72	8.06	454.02	58.91	0.30	OK
136.46	0.43	458.26	58.78	0.30	OK
135.20	8.93	439.74	58.65	0.31	OK
56.21	25.48		46.76	0.54	OK
54.95	0.52		46.55	0.01	OK
53.68	13.42		46.33	0.29	OK
163.12	12.98	414.43	60.52	0.39	OK
161.86	1.19	458.26	60.65	0.35	OK
160.60	27.26	274.86	60.76	0.58	OK
19.23	23.30		40.05	0.58	OK
18.28	0.63		39.86	0.02	OK
17.34	15.83		39.66	0.40	OK
126.14	15.16	343.73	57.67	0.37	OK
125.19	1.07	458.26	57.54	0.27	OK
124.25	24.85	242.55	57.42	0.51	OK

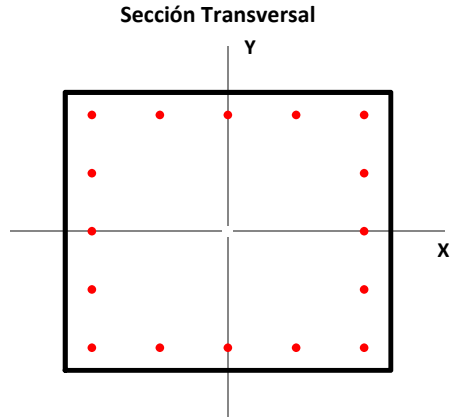
COLUMNA 60x60 Pisos 4-5-6 (PORTICO 8 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	60.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	60.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	3600 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	5	Número de Disp. X
N_y	5	Número de Disp. Y
N	16	Número de Varillas
Φ_x	18 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	18 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	18 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	40.72 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.13%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	12.55 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	12.55 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	10.75 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	10.75 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	108 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.18 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.18 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 62.90 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

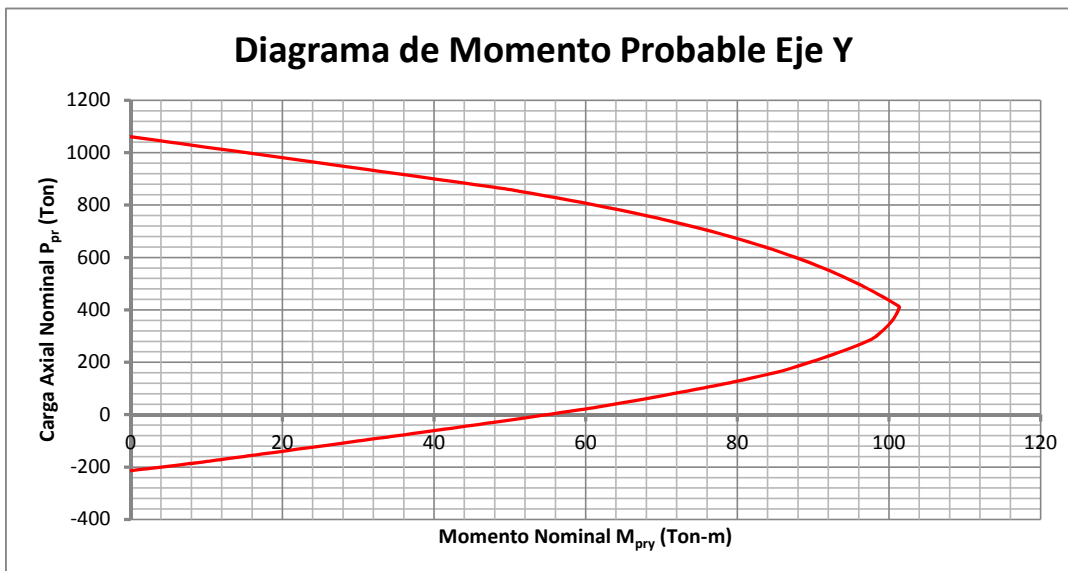
V_{ux} 26.10 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

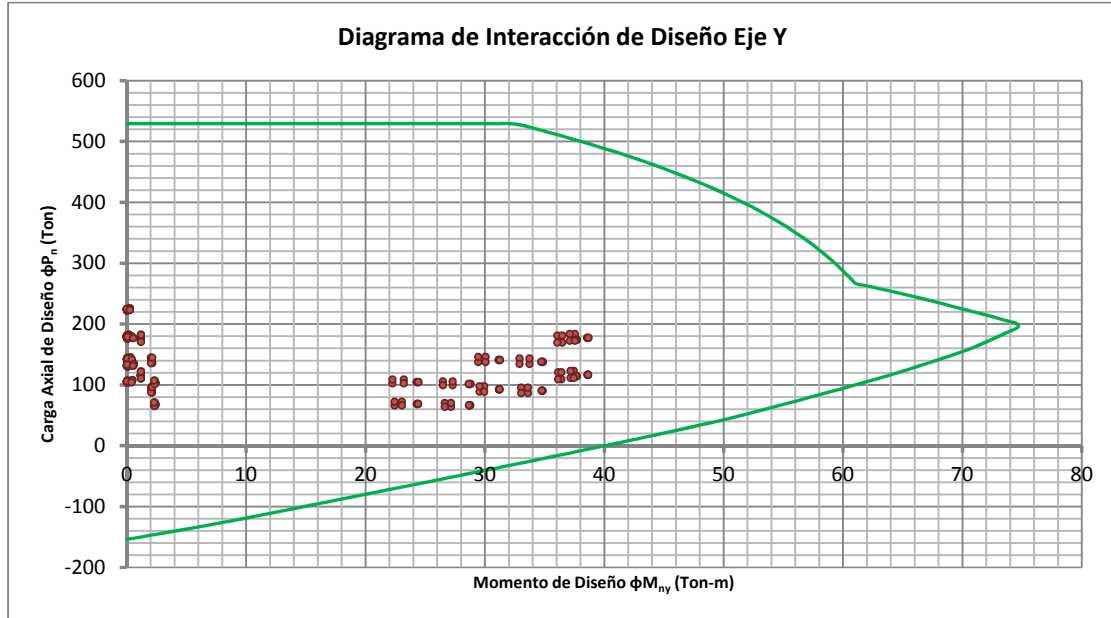
$M_{prmax,y}$ 92.28 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 51.27 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
145.11	0.31	529.42	68.55	0.27	OK
143.32	0.06	529.42	68.28	0.27	OK
141.54	0.43	529.42	68.00	0.27	OK
180.14	0.39	529.42	73.06	0.34	OK
178.61	0.08	529.42	72.89	0.34	OK
177.08	0.54	529.42	72.72	0.33	OK
137.40	29.45	281.38	67.36	0.49	OK
135.87	2.15	529.42	67.12	0.26	OK
134.34	33.75	254.38	66.88	0.53	OK
146.21	30.06	291.00	68.71	0.50	OK
144.68	2.04	529.42	68.48	0.27	OK
143.15	32.91	266.05	68.25	0.54	OK
88.88	29.56		58.98	0.50	OK
87.73	2.13		58.76	0.04	OK
86.58	33.60		58.55	0.57	OK
97.69	29.95		60.61	0.49	OK
96.54	2.06		60.40	0.03	OK
95.39	33.06		60.19	0.55	OK

182.46	0.21	529.42	73.32	0.34	OK
180.69	0.00	529.42	73.12	0.34	OK
178.92	0.21	529.42	72.92	0.34	OK
226.04	0.27	529.42	69.76	0.43	OK
224.52	0.00	529.42	70.06	0.42	OK
223.00	0.27	529.42	70.37	0.42	OK
172.45	37.11	280.45	72.18	0.61	OK
170.93	1.19	529.42	72.01	0.32	OK
169.42	36.48	280.34	71.83	0.60	OK
183.87	37.54	292.60	73.48	0.63	OK
182.35	1.19	529.42	73.31	0.34	OK
180.84	36.07	298.01	73.14	0.61	OK
111.59	37.19	215.58	63.12	0.59	OK
110.45	1.19	529.42	62.91	0.21	OK
109.31	36.41	215.67	62.71	0.58	OK
123.01	37.46	227.88	65.06	0.58	OK
121.87	1.19	529.42	64.87	0.23	OK
120.73	36.14	230.30	64.69	0.56	OK
107.98	0.48	529.42	62.47	0.20	OK
106.19	0.03	529.42	62.15	0.20	OK
104.41	0.41	529.42	61.83	0.20	OK
134.54	0.61	529.42	66.91	0.25	OK
133.01	0.04	529.42	66.67	0.25	OK
131.48	0.53	529.42	66.43	0.25	OK
102.64	22.28	278.56	61.51	0.37	OK
101.11	2.30	529.42	61.23	0.19	OK
99.58	27.32		60.95	0.45	OK
108.71	23.22	282.21	62.60	0.39	OK
107.18	2.36	529.42	62.33	0.20	OK
105.65	26.50	254.62	62.05	0.43	OK
66.38	22.44		54.71	0.41	OK
65.23	2.31		54.49	0.04	OK
64.08	27.17		54.27	0.50	OK
72.45	23.05		55.88	0.41	OK
71.30	2.35		55.66	0.04	OK
70.15	26.64		55.44	0.48	OK
181.49	0.03	529.42	73.21	0.34	OK
179.72	0.00	529.42	73.01	0.34	OK
177.95	0.03	529.42	72.81	0.34	OK
224.76	0.04	529.42	70.01	0.42	OK
223.25	0.00	529.42	70.32	0.42	OK
221.73	0.04	529.42	70.63	0.42	OK
177.04	38.67	277.15	72.71	0.64	OK
175.53	1.17	529.42	72.54	0.33	OK
174.01	37.64	279.31	72.36	0.62	OK
177.33	38.60	277.92	72.74	0.64	OK

175.82	1.16	529.42	72.57	0.33	OK
174.30	37.71	279.30	72.40	0.62	OK
116.53	38.65	216.22	63.97	0.60	OK
115.39	1.17	529.42	63.77	0.22	OK
114.25	37.65	217.12	63.58	0.59	OK
116.82	38.61	216.72	64.02	0.60	OK
115.68	1.16	529.42	63.82	0.22	OK
114.54	37.69	217.31	63.63	0.59	OK
181.49	0.03	529.42	73.21	0.34	OK
179.72	0.00	529.42	73.01	0.34	OK
177.95	0.03	529.42	72.81	0.34	OK
224.76	0.04	529.42	70.01	0.42	OK
223.25	0.00	529.42	70.32	0.42	OK
221.73	0.04	529.42	70.63	0.42	OK
177.04	38.60	277.55	72.71	0.64	OK
175.53	1.16	529.42	72.54	0.33	OK
174.01	37.71	278.92	72.36	0.62	OK
177.33	38.67	277.52	72.74	0.64	OK
175.82	1.17	529.42	72.57	0.33	OK
174.30	37.64	279.69	72.40	0.62	OK
116.53	38.61	216.37	63.97	0.60	OK
115.39	1.16	529.42	63.77	0.22	OK
114.25	37.69	216.96	63.58	0.59	OK
116.82	38.65	216.56	64.02	0.60	OK
115.68	1.17	529.42	63.82	0.22	OK
114.54	37.65	217.46	63.63	0.59	OK
182.46	0.21	529.42	73.32	0.34	OK
180.69	0.00	529.42	73.12	0.34	OK
178.92	0.21	529.42	72.92	0.34	OK
226.04	0.27	529.42	69.76	0.43	OK
224.52	0.00	529.42	70.06	0.42	OK
223.00	0.27	529.42	70.37	0.42	OK
172.45	37.54	277.91	72.18	0.62	OK
170.93	1.19	529.42	72.01	0.32	OK
169.42	36.07	282.95	71.83	0.60	OK
183.87	37.11	295.21	73.48	0.62	OK
182.35	1.19	529.42	73.31	0.34	OK
180.84	36.48	295.35	73.14	0.61	OK
111.59	37.46	214.58	63.12	0.59	OK
110.45	1.19	529.42	62.91	0.21	OK
109.31	36.14	216.68	62.71	0.58	OK
123.01	37.19	228.90	65.06	0.57	OK
121.87	1.19	529.42	64.87	0.23	OK
120.73	36.41	229.26	64.69	0.56	OK
144.23	0.05	529.42	68.42	0.27	OK
142.45	0.01	529.42	68.14	0.27	OK
140.66	0.06	529.42	67.87	0.27	OK

178.98	0.06	529.42	72.93	0.34	OK
177.45	0.01	529.42	72.76	0.34	OK
175.92	0.08	529.42	72.58	0.33	OK
140.80	31.27	273.37	67.89	0.52	OK
139.27	2.09	529.42	67.65	0.26	OK
137.74	34.74	253.85	67.41	0.54	OK
141.05	31.18	274.43	67.93	0.51	OK
139.52	2.10	529.42	67.69	0.26	OK
137.99	34.87	253.63	67.45	0.54	OK
92.59	31.25		59.67	0.52	OK
91.45	2.09		59.46	0.04	OK
90.30	34.77		59.24	0.59	OK
92.84	31.19		59.72	0.52	OK
91.70	2.10		59.50	0.04	OK
90.55	34.84		59.29	0.59	OK
106.90	0.07	529.42	62.28	0.20	OK
105.12	0.00	529.42	61.96	0.20	OK
103.34	0.06	529.42	61.64	0.20	OK
133.13	0.09	529.42	66.69	0.25	OK
131.60	0.00	529.42	66.44	0.25	OK
130.07	0.08	529.42	66.20	0.25	OK
104.50	24.44	263.82	61.85	0.40	OK
102.97	2.41	529.42	61.57	0.19	OK
101.44	28.67	238.31	61.29	0.47	OK
104.70	24.31	264.80	61.88	0.40	OK
103.17	2.41	529.42	61.61	0.19	OK
101.64	28.79	238.00	61.33	0.47	OK
68.62	24.42		55.14	0.44	OK
67.48	2.41		54.92	0.04	OK
66.33	28.69		54.70	0.52	OK
68.83	24.33		55.18	0.44	OK
67.68	2.41		54.96	0.04	OK
66.53	28.77		54.74	0.53	OK
144.23	0.05	529.42	68.42	0.27	OK
142.45	0.01	529.42	68.14	0.27	OK
140.66	0.06	529.42	67.87	0.27	OK
178.98	0.06	529.42	72.93	0.34	OK
177.45	0.01	529.42	72.76	0.34	OK
175.92	0.08	529.42	72.58	0.33	OK
140.80	31.18	274.03	67.89	0.51	OK
139.27	2.10	529.42	67.65	0.26	OK
137.74	34.87	253.38	67.41	0.54	OK
141.05	31.27	273.77	67.93	0.52	OK
139.52	2.09	529.42	67.69	0.26	OK
137.99	34.74	254.09	67.45	0.54	OK
92.59	31.19		59.67	0.52	OK
91.45	2.10		59.46	0.04	OK

90.30	34.84		59.24	0.59	OK
92.84	31.25		59.72	0.52	OK
91.70	2.09		59.50	0.04	OK
90.55	34.77		59.29	0.59	OK
106.90	0.07	529.42	62.28	0.20	OK
105.12	0.00	529.42	61.96	0.20	OK
103.34	0.06	529.42	61.64	0.20	OK
133.13	0.09	529.42	66.69	0.25	OK
131.60	0.00	529.42	66.44	0.25	OK
130.07	0.08	529.42	66.20	0.25	OK
104.50	24.31	264.55	61.85	0.40	OK
102.97	2.41	529.42	61.57	0.19	OK
101.44	28.79	237.72	61.29	0.47	OK
104.70	24.44	264.08	61.88	0.40	OK
103.17	2.41	529.42	61.61	0.19	OK
101.64	28.67	238.58	61.33	0.47	OK
68.62	24.33		55.14	0.44	OK
67.48	2.41		54.92	0.04	OK
66.33	28.77		54.70	0.53	OK
68.83	24.42		55.18	0.44	OK
67.68	2.41		54.96	0.04	OK
66.53	28.69		54.74	0.52	OK
145.11	0.31	529.42	68.55	0.27	OK
143.32	0.06	529.42	68.28	0.27	OK
141.54	0.43	529.42	68.00	0.27	OK
180.14	0.39	529.42	73.06	0.34	OK
178.61	0.08	529.42	72.89	0.34	OK
177.08	0.54	529.42	72.72	0.33	OK
137.40	30.06	276.79	67.36	0.50	OK
135.87	2.04	529.42	67.12	0.26	OK
134.34	32.91	257.74	66.88	0.52	OK
146.21	29.45	295.69	68.71	0.49	OK
144.68	2.15	529.42	68.48	0.27	OK
143.15	33.75	262.78	68.25	0.54	OK
88.88	29.95		58.98	0.51	OK
87.73	2.06		58.76	0.04	OK
86.58	33.06		58.55	0.56	OK
97.69	29.56		60.61	0.49	OK
96.54	2.13		60.40	0.04	OK
95.39	33.60		60.19	0.56	OK
107.98	0.48	529.42	62.47	0.20	OK
106.19	0.03	529.42	62.15	0.20	OK
104.41	0.41	529.42	61.83	0.20	OK
134.54	0.61	529.42	66.91	0.25	OK
133.01	0.04	529.42	66.67	0.25	OK
131.48	0.53	529.42	66.43	0.25	OK
102.64	23.22	269.37	61.51	0.38	OK

101.11	2.36	529.42	61.23	0.19	OK
99.58	26.50		60.95	0.43	OK
108.71	22.28	291.73	62.60	0.37	OK
107.18	2.30	529.42	62.33	0.20	OK
105.65	27.32	250.51	62.05	0.44	OK
66.38	23.05		54.71	0.42	OK
65.23	2.35		54.49	0.04	OK
64.08	26.64		54.27	0.49	OK
72.45	22.44		55.88	0.40	OK
71.30	2.31		55.66	0.04	OK
70.15	27.17		55.44	0.49	OK

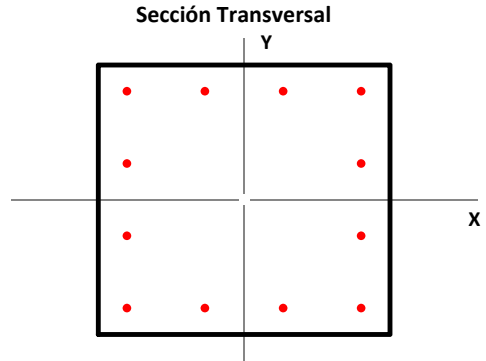
COLUMNA 50x50 Pisos 4-5-6 (PORTICO 8 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	50.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	50.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	2500 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	4	Número de Disp. X
N_y	4	Número de Disp. Y
N	12	Número de Varillas
Φ_x	18 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	18 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	18 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	30.54 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.22%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	13.40 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	13.40 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	11.60 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	11.60 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Ultima
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	108 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.03 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.03 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 51.77 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

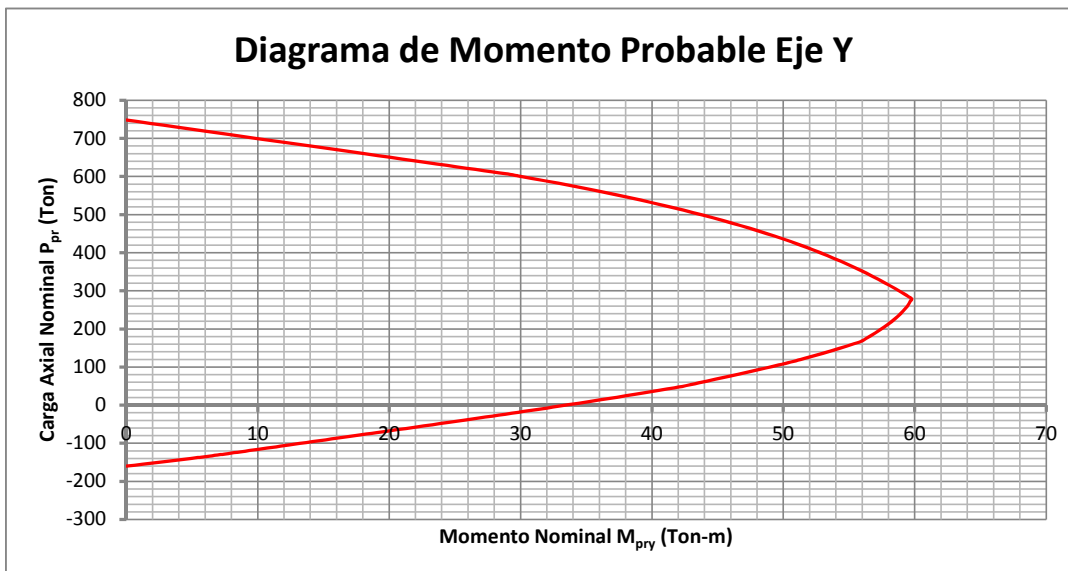
V_{ux} 15.89 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

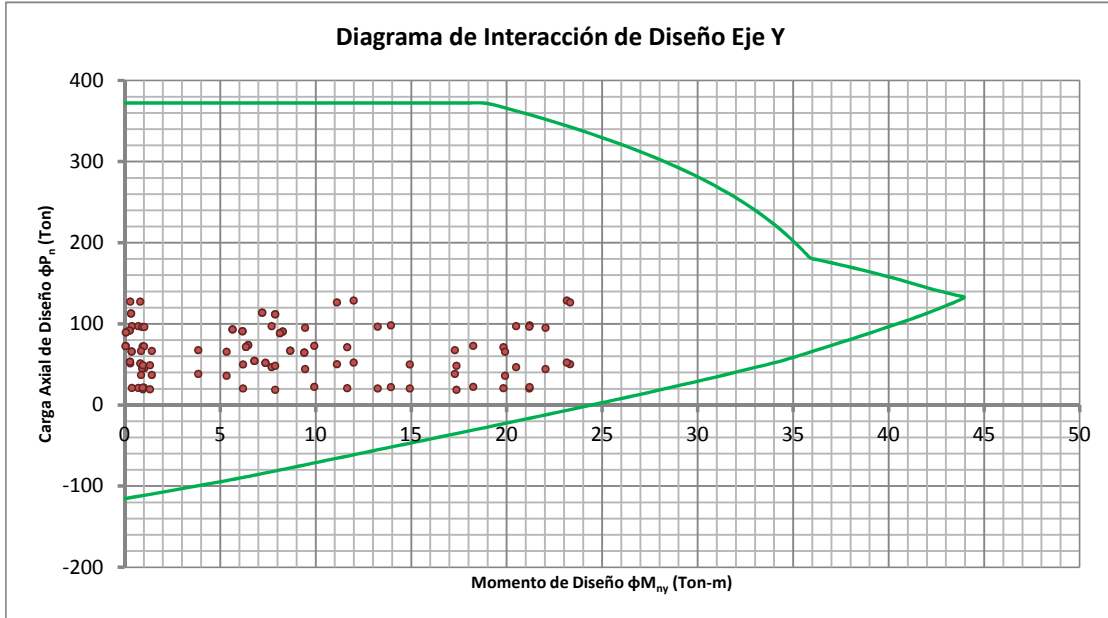
$M_{prmax,y}$ 52.24 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 29.02 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
93.01	5.65	355.19	39.57	0.26	OK
91.78	0.26	372.31	39.41	0.25	OK
90.55	6.18	342.35	39.25	0.26	OK
113.68	7.20	350.69	42.06	0.32	OK
112.63	0.34	372.31	41.95	0.30	OK
111.58	7.89	338.17	41.83	0.33	OK
52.26	11.99		34.02	0.35	OK
51.20	0.82		33.85	0.02	OK
50.15	23.33		33.67	0.69	OK
128.41	23.16	195.69	43.61	0.66	OK
127.36	0.29	372.31	43.52	0.34	OK
126.31	11.12	309.79	43.41	0.41	OK
21.71	13.94		28.61	0.49	OK
20.92	0.73		28.46	0.03	OK
20.13	21.20		28.31	0.75	OK
97.87	21.21	172.87	40.18	0.57	OK
97.08	0.39	372.31	40.08	0.26	OK
96.29	13.25	239.93	39.98	0.40	OK

93.01	5.65	355.19	39.57	0.26	OK
91.78	0.26	372.31	39.41	0.25	OK
90.55	6.18	342.35	39.25	0.26	OK
113.68	7.20	350.69	42.06	0.32	OK
112.63	0.34	372.31	41.95	0.30	OK
111.58	7.89	338.17	41.83	0.33	OK
52.26	23.16		34.02	0.68	OK
51.20	0.29		33.85	0.01	OK
50.15	11.12		33.67	0.33	OK
128.41	11.99	301.32	43.61	0.43	OK
127.36	0.82	372.31	43.52	0.34	OK
126.31	23.33	191.91	43.41	0.66	OK
21.71	21.21		28.61	0.74	OK
20.92	0.39		28.46	0.01	OK
20.13	13.25		28.31	0.47	OK
97.87	13.94	234.20	40.18	0.42	OK
97.08	0.73	372.31	40.08	0.26	OK
96.29	21.20	171.39	39.98	0.56	OK
73.74	6.48	310.09	37.04	0.24	OK
72.50	0.05	372.31	36.87	0.19	OK
71.26	6.37	307.68	36.71	0.23	OK
90.33	8.28	304.05	39.22	0.30	OK
89.27	0.07	372.31	39.08	0.24	OK
88.20	8.14	303.06	38.95	0.29	OK
46.30	20.50		33.02	0.62	OK
45.24	1.03		32.83	0.03	OK
44.18	9.46		32.65	0.29	OK
97.06	7.70	323.89	40.08	0.30	OK
96.00	0.93	372.31	39.95	0.26	OK
94.94	22.05	166.33	39.81	0.57	OK
22.02	18.26		28.66	0.64	OK
21.23	1.02		28.52	0.04	OK
20.43	11.66		28.37	0.41	OK
72.78	9.94	241.25	36.91	0.30	OK
71.99	0.94	372.31	36.81	0.19	OK
71.19	19.84	148.63	36.70	0.54	OK
54.22	6.80		34.35	0.20	OK
52.99	0.29		34.14	0.01	OK
51.75	7.38		33.94	0.22	OK
66.67	8.68		36.09	0.24	OK
65.61	0.37		35.94	0.01	OK
64.55	9.42		35.80	0.26	OK
38.03	17.29		31.58	0.55	OK
36.97	0.86		31.39	0.03	OK
35.91	5.34		31.20	0.17	OK
67.55	3.85		36.21	0.11	OK

66.48	1.43		36.06	0.04	OK
65.42	19.92		35.92	0.55	OK
20.10	14.94		28.31	0.53	OK
19.30	0.96		28.16	0.03	OK
18.51	7.89		28.01	0.28	OK
49.62	6.20		33.58	0.18	OK
48.82	1.33		33.45	0.04	OK
48.02	17.38		33.31	0.52	OK
73.74	6.48	310.09	37.04	0.24	OK
72.50	0.05	372.31	36.87	0.19	OK
71.26	6.37	307.68	36.71	0.23	OK
90.33	8.28	304.05	39.22	0.30	OK
89.27	0.07	372.31	39.08	0.24	OK
88.20	8.14	303.06	38.95	0.29	OK
46.30	7.70		33.02	0.23	OK
45.24	0.93		32.83	0.03	OK
44.18	22.05		32.65	0.68	OK
97.06	20.50	175.24	40.08	0.55	OK
96.00	1.03	372.31	39.95	0.26	OK
94.94	9.46	291.77	39.81	0.33	OK
22.02	9.94		28.66	0.35	OK
21.23	0.94		28.52	0.03	OK
20.43	19.84		28.37	0.70	OK
72.78	18.26	158.87	36.91	0.49	OK
71.99	1.02	372.31	36.81	0.19	OK
71.19	11.66	211.17	36.70	0.34	OK
54.22	6.80		34.35	0.20	OK
52.99	0.29		34.14	0.01	OK
51.75	7.38		33.94	0.22	OK
66.67	8.68		36.09	0.24	OK
65.61	0.37		35.94	0.01	OK
64.55	9.42		35.80	0.26	OK
38.03	3.85		31.58	0.12	OK
36.97	1.43		31.39	0.05	OK
35.91	19.92		31.20	0.64	OK
67.55	17.29		36.21	0.48	OK
66.48	0.86		36.06	0.02	OK
65.42	5.34		35.92	0.15	OK
20.10	6.20		28.31	0.22	OK
19.30	1.33		28.16	0.05	OK
18.51	17.38		28.01	0.62	OK
49.62	14.94		33.58	0.44	OK
48.82	0.96		33.45	0.03	OK
48.02	7.89		33.31	0.24	OK

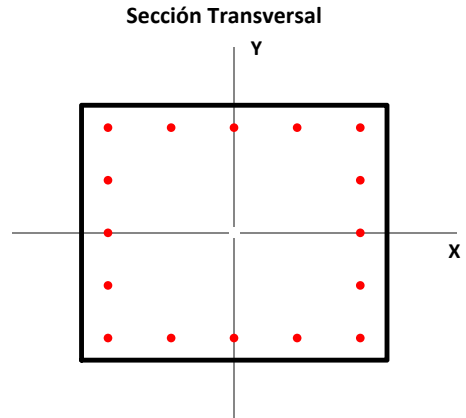
COLUMNA 55x55 Pisos 7-8 (PORTICO 8 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	55.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	55.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	3025 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	5	Número de Disp. X
N_y	5	Número de Disp. Y
N	16	Número de Varillas
Φ_x	16 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	16 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	16 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	32.17 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.06%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.35 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.35 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	9.75 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	9.75 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	100 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.00 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.00 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 57.34 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

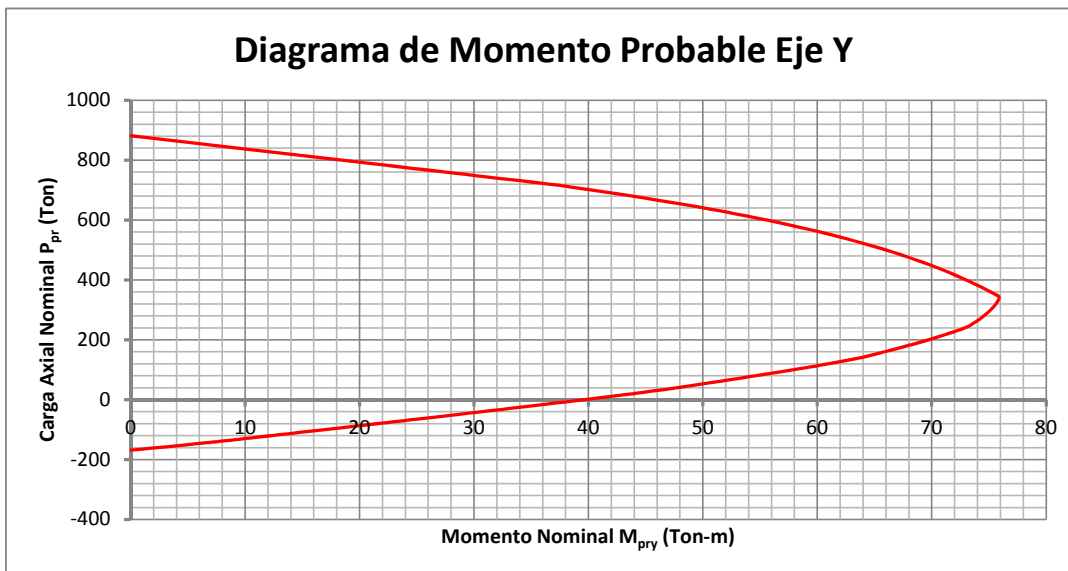
V_{ux} 12.67 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

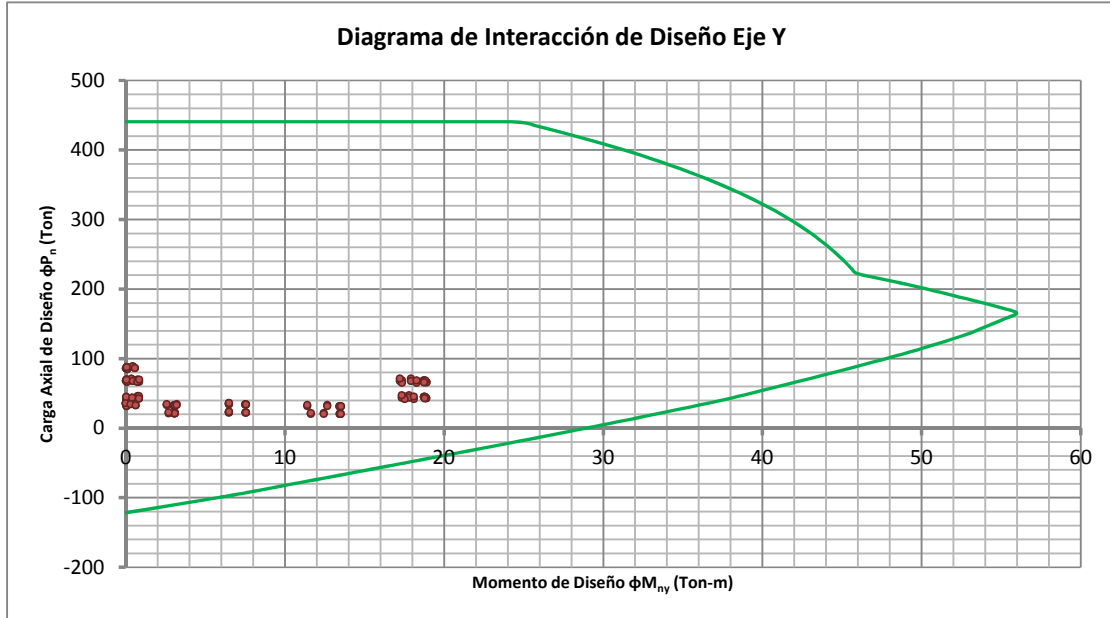
$M_{prmax,y}$ 56.11 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 31.17 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
70.73	0.35		42.88	0.01	OK
69.21	0.05		42.62	0.00	OK
67.70	0.46		42.35	0.01	OK
88.77	0.45	440.65	45.93	0.20	OK
87.47	0.07	440.65	45.71	0.20	OK
86.18	0.58	440.65	45.50	0.20	OK
67.78	17.23		42.37	0.41	OK
66.48	0.84		42.14	0.02	OK
65.19	18.27		41.92	0.44	OK
71.06	17.91		42.94	0.42	OK
69.76	0.74		42.71	0.02	OK
68.47	17.37		42.49	0.41	OK
43.83	17.35		38.11	0.46	OK
42.86	0.82		37.93	0.02	OK
41.88	18.11		37.74	0.48	OK
47.11	17.79		38.72	0.46	OK
46.13	0.75		38.55	0.02	OK
45.16	17.53		38.37	0.46	OK

35.76	0.01		36.54	0.00	OK
34.23	0.31		36.23	0.01	OK
32.71	0.63		35.91	0.02	OK
44.96	0.03		38.33	0.00	OK
43.65	0.40		38.08	0.01	OK
42.34	0.83		37.83	0.02	OK
34.41	6.50		36.26	0.18	OK
33.10	2.58		35.99	0.07	OK
31.80	11.40		35.73	0.32	OK
35.83	6.47		36.55	0.18	OK
34.52	3.20		36.29	0.09	OK
33.22	12.66		36.02	0.35	OK
22.28	6.49		33.74	0.19	OK
21.30	2.69		33.53	0.08	OK
20.32	11.63		33.32	0.35	OK
23.70	6.48		34.04	0.19	OK
22.72	3.09		33.83	0.09	OK
21.74	12.44		33.62	0.37	OK
69.65	0.06		42.69	0.00	OK
68.14	0.01		42.43	0.00	OK
66.63	0.08		42.17	0.00	OK
87.35	0.07	440.65	45.69	0.20	OK
86.05	0.01	440.65	45.47	0.20	OK
84.76	0.10	440.65	45.26	0.19	OK
68.27	18.82		42.45	0.44	OK
66.98	0.75		42.23	0.02	OK
65.68	18.75		42.00	0.45	OK
68.41	18.71		42.48	0.44	OK
67.12	0.77		42.25	0.02	OK
65.82	18.91		42.03	0.45	OK
44.71	18.80		38.28	0.49	OK
43.73	0.76		38.10	0.02	OK
42.76	18.78		37.91	0.50	OK
44.85	18.73		38.31	0.49	OK
43.87	0.77		38.12	0.02	OK
42.90	18.88		37.94	0.50	OK
34.63	0.03		36.31	0.00	OK
33.10	0.04		35.99	0.00	OK
31.58	0.05		35.68	0.00	OK
43.48	0.03		38.05	0.00	OK
42.17	0.05		37.80	0.00	OK
40.86	0.07		37.55	0.00	OK
33.94	7.56		36.17	0.21	OK
32.63	3.10		35.90	0.09	OK
31.33	13.53		35.63	0.38	OK
34.04	7.51		36.19	0.21	OK

32.74	3.02		35.92	0.08	OK
31.43	13.42		35.65	0.38	OK
22.21	7.55		33.72	0.22	OK
21.23	3.09		33.51	0.09	OK
20.25	13.51		33.30	0.41	OK
22.31	7.52		33.75	0.22	OK
21.33	3.04		33.54	0.09	OK
20.35	13.44		33.33	0.40	OK
69.65	0.06		42.69	0.00	OK
68.14	0.01		42.43	0.00	OK
66.63	0.08		42.17	0.00	OK
87.35	0.07	440.65	45.69	0.20	OK
86.05	0.01	440.65	45.47	0.20	OK
84.76	0.10	440.65	45.26	0.19	OK
68.27	18.71		42.45	0.44	OK
66.98	0.77		42.23	0.02	OK
65.68	18.91		42.00	0.45	OK
68.41	18.82		42.48	0.44	OK
67.12	0.75		42.25	0.02	OK
65.82	18.75		42.03	0.45	OK
44.71	18.73		38.28	0.49	OK
43.73	0.77		38.10	0.02	OK
42.76	18.88		37.91	0.50	OK
44.85	18.80		38.31	0.49	OK
43.87	0.76		38.12	0.02	OK
42.90	18.78		37.94	0.50	OK
34.63	0.03		36.31	0.00	OK
33.10	0.04		35.99	0.00	OK
31.58	0.05		35.68	0.00	OK
43.48	0.03		38.05	0.00	OK
42.17	0.05		37.80	0.00	OK
40.86	0.07		37.55	0.00	OK
33.94	7.51		36.17	0.21	OK
32.63	3.02		35.90	0.08	OK
31.33	13.42		35.63	0.38	OK
34.04	7.56		36.19	0.21	OK
32.74	3.10		35.92	0.09	OK
31.43	13.53		35.65	0.38	OK
22.21	7.52		33.72	0.22	OK
21.23	3.04		33.51	0.09	OK
20.25	13.44		33.30	0.40	OK
22.31	7.55		33.75	0.22	OK
21.33	3.09		33.54	0.09	OK
20.35	13.51		33.33	0.41	OK
70.73	0.35		42.88	0.01	OK
69.21	0.05		42.62	0.00	OK
67.70	0.46		42.35	0.01	OK

88.77	0.45	440.65	45.93	0.20	OK
87.47	0.07	440.65	45.71	0.20	OK
86.18	0.58	440.65	45.50	0.20	OK
67.78	17.91		42.37	0.42	OK
66.48	0.74		42.14	0.02	OK
65.19	17.37		41.92	0.41	OK
71.06	17.23		42.94	0.40	OK
69.76	0.84		42.71	0.02	OK
68.47	18.27		42.49	0.43	OK
43.83	17.79		38.11	0.47	OK
42.86	0.75		37.93	0.02	OK
41.88	17.53		37.74	0.46	OK
47.11	17.35		38.72	0.45	OK
46.13	0.82		38.55	0.02	OK
45.16	18.11		38.37	0.47	OK
35.76	0.01		36.54	0.00	OK
34.23	0.31		36.23	0.01	OK
32.71	0.63		35.91	0.02	OK
44.96	0.03		38.33	0.00	OK
43.65	0.40		38.08	0.01	OK
42.34	0.83		37.83	0.02	OK
34.41	6.47		36.26	0.18	OK
33.10	3.20		35.99	0.09	OK
31.80	12.66		35.73	0.35	OK
35.83	6.50		36.55	0.18	OK
34.52	2.58		36.29	0.07	OK
33.22	11.40		36.02	0.32	OK
22.28	6.48		33.74	0.19	OK
21.30	3.09		33.53	0.09	OK
20.32	12.44		33.32	0.37	OK
23.70	6.49		34.04	0.19	OK
22.72	2.69		33.83	0.08	OK
21.74	11.63		33.62	0.35	OK

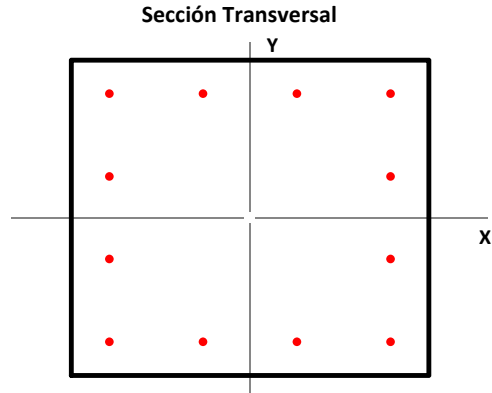
COLUMNA 45x45 Pisos 7-8 (PORTICO 8 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	45.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	45.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	2025 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	3.41	Número de Ramas X
N_{Ry}	3.41	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	2.68 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	2.68 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	4	Número de Disp. X
N_y	4	Número de Disp. Y
N	12	Número de Varillas
Φ_x	16 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	16 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	16 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	24.13 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.19%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.80 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.80 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	10.20 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	10.20 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	100 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.06 cm ²	ESTADO	ERROR	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.06 cm ²	ESTADO	ERROR	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 35.01 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

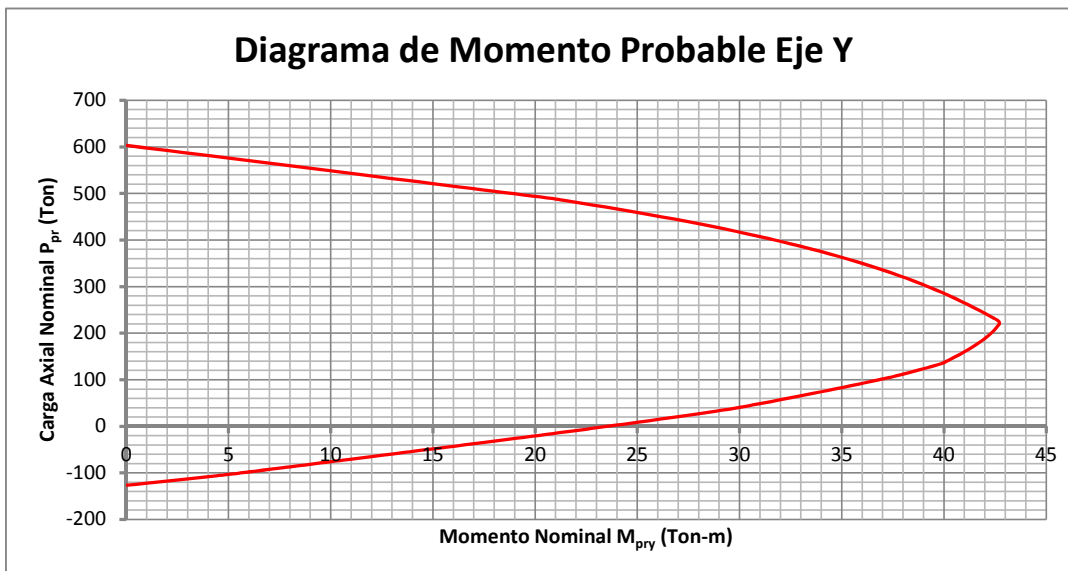
V_{ux} 8.83 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

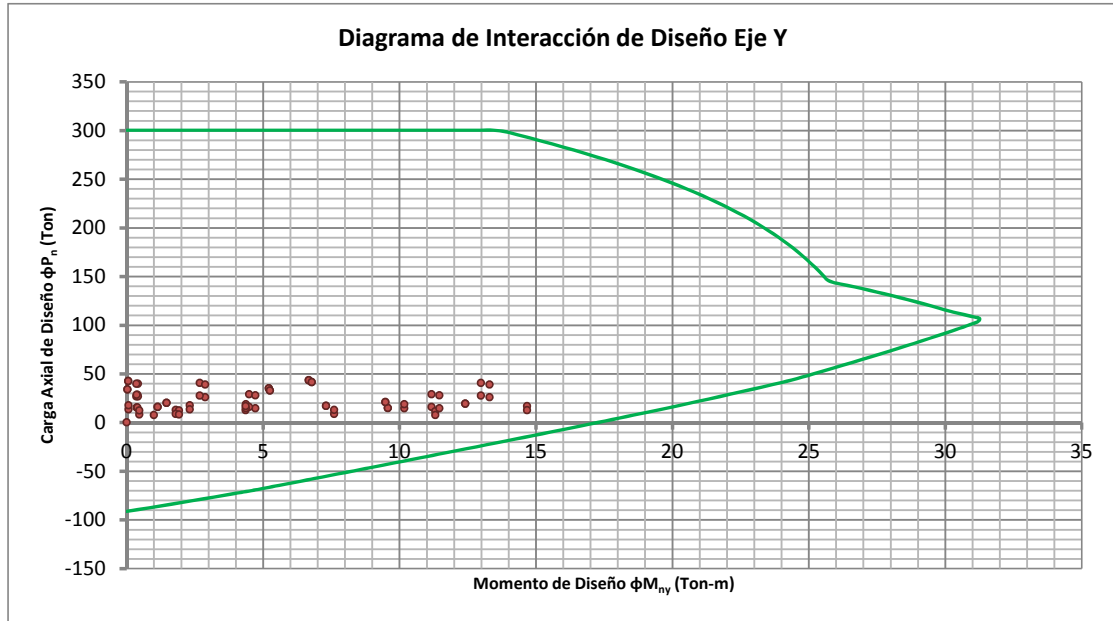
$M_{prmax,y}$ 30.35 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 16.86 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
34.94	5.20		23.03	0.23	OK
33.92	0.02		22.87	0.00	OK
32.91	5.25		22.71	0.23	OK
43.27	6.68		24.30	0.27	OK
42.40	0.05		24.17	0.00	OK
41.53	6.78		24.04	0.28	OK
27.56	12.98		21.86	0.59	OK
26.69	0.35		21.73	0.02	OK
25.82	2.87		21.59	0.13	OK
40.66	2.67		23.90	0.11	OK
39.79	0.41		23.77	0.02	OK
38.93	13.30		23.64	0.56	OK
15.91	11.17		19.96	0.56	OK
15.25	0.37		19.85	0.02	OK
14.60	4.71		19.74	0.24	OK
29.01	4.48		22.10	0.20	OK
28.36	0.39		21.99	0.02	OK
27.71	11.46		21.89	0.52	OK

16.90	7.31		20.12	0.36	OK
15.88	1.13		19.95	0.06	OK
14.86	9.57		19.78	0.48	OK
20.94	9.48		20.79	0.46	OK
20.07	1.46		20.65	0.07	OK
19.19	12.41		20.51	0.61	OK
14.44	10.17		19.71	0.52	OK
13.57	0.06		19.57	0.00	OK
12.69	4.36		19.42	0.22	OK
18.56	4.37		20.40	0.21	OK
17.69	2.31		20.26	0.11	OK
16.81	14.68		20.11	0.73	OK
8.80	7.60		18.76	0.41	OK
8.15	0.46		18.65	0.02	OK
7.49	0.99		18.54	0.05	OK
12.92	1.80		19.46	0.09	OK
12.27	1.91		19.35	0.10	OK
11.61	11.31		19.24	0.59	OK
34.94	5.20		23.03	0.23	OK
33.92	0.02		22.87	0.00	OK
32.91	5.25		22.71	0.23	OK
43.27	6.68		24.30	0.27	OK
42.40	0.05		24.17	0.00	OK
41.53	6.78		24.04	0.28	OK
27.56	2.67		21.86	0.12	OK
26.69	0.41		21.73	0.02	OK
25.82	13.30		21.59	0.62	OK
40.66	12.98		23.90	0.54	OK
39.79	0.35		23.77	0.01	OK
38.93	2.87		23.64	0.12	OK
15.91	4.48		19.96	0.22	OK
15.25	0.39		19.85	0.02	OK
14.60	11.46		19.74	0.58	OK
29.01	11.17		22.10	0.51	OK
28.36	0.37		21.99	0.02	OK
27.71	4.71		21.89	0.22	OK
16.90	7.31		20.12	0.36	OK
15.88	1.13		19.95	0.06	OK
14.86	9.57		19.78	0.48	OK
20.94	9.48		20.79	0.46	OK
20.07	1.46		20.65	0.07	OK
19.19	12.41		20.51	0.61	OK
14.44	4.37		19.71	0.22	OK
13.57	2.31		19.57	0.12	OK
12.69	14.68		19.42	0.76	OK

18.56	10.17		20.40	0.50	OK
17.69	0.06		20.26	0.00	OK
16.81	4.36		20.11	0.22	OK
8.80	1.80		18.76	0.10	OK
8.15	1.91		18.65	0.10	OK
7.49	11.31		18.54	0.61	OK
12.92	7.60		19.46	0.39	OK
12.27	0.46		19.35	0.02	OK
11.61	0.99		19.24	0.05	OK

VIGA 35x70 Pisos 1-2-3 (PORTICO 8 PISOS)

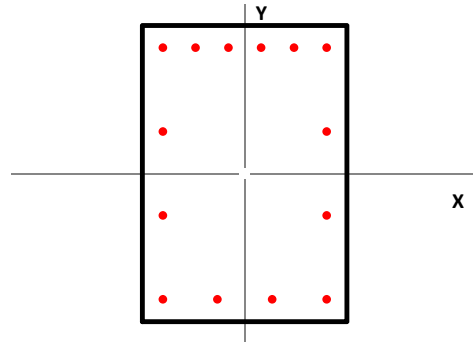
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	35.00 cm	Ancho de la Sección
h	70.00 cm	Altura de la Sección
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	4	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	162 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	---------------	-----------	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	64.08 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	57.79 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	34.05 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	26.00 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	85.73 Ton-m	60.35 Ton-m		Momento Probable Maximo Izq.
$M_{prmax,der}$	85.73 Ton-m	60.35 Ton-m		Momento Probable Maximo Der.
V_{ex}	43.39 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima	1.45%
A_{min}	7.55 cm ²	Área de Acero Mínima	32.75 cm ²

$P_{max}=0.5P_b$		Cuántia Long. Mínima	1.45%
A_{max}		Área de Acero Mínima	32.75 cm ²

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-63.65 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1944	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.30%	Cuántia Requerida
	$A_{req.}$	29.38 cm ²	Acero Requerido
	$A_{col.}$	29.45 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	63.80 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	43.71 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1278	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.85%	Cuántia Requerida
	$A_{req.}$	19.32 cm ²	Acero Requerido
	$A_{col.}$	19.63 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	44.37 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

5.2 Sección Media

Superior	M_u	-21.26 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0596	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.40%	Cuántia Requerida
	$A_{req.}$	9.00 cm ²	Acero Requerido
	$A_{col.}$	19.63 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	44.37 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	28.89 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0821	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.55%	Cuántia Requerida
	$A_{req.}$	12.40 cm ²	Acero Requerido
	$A_{col.}$	19.63 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	44.37 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

5.3 Extremo Derecho

Superior	M_u	-63.65 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1944	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.30%	Cuántia Requerida
	$A_{req.}$	29.38 cm ²	Acero Requerido
	$A_{col.}$	29.45 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	63.80 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	43.71 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1278	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.85%	Cuántia Requerida
	$A_{req.}$	19.32 cm ²	Acero Requerido
	$A_{col.}$	19.63 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	44.37 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

VIGA 35x65 Pisos 4-5-6 (PORTICO 8 PISOS)

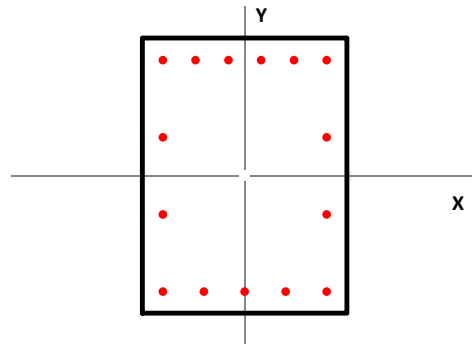
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	35.00 cm	Ancho de la Sección
h	65.00 cm	Altura de la Sección
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	2	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	144 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	--------	----	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	43.47 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	33.62 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	28.77 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	20.79 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	70.64 Ton-m	44.06 Ton-m		Momento Probable Maximo Izq.
$M_{prmax,der}$	70.64 Ton-m	44.06 Ton-m		Momento Probable Maximo Der.
V_{ex}	38.16 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima
A_{min}	6.97 cm ²	Área de Acero Mínima

$P_{max}=0.5P_b$	1.45%	Cuántia Long. Mínima
A_{max}	30.22 cm ²	Área de Acero Mínima

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-50.47 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1793	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.20%	Cuántia Requerida
	$A_{s,req.}$	24.99 cm ²	Acero Requerido
	$A_{s,col.}$	26.13 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	52.49 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	30.21 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1015	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.68%	Cuántia Requerida
	$A_{s,req.}$	14.19 cm ²	Acero Requerido
	$A_{s,col.}$	15.24 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	32.28 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

5.2 Sección Media

Superior	M_u	-15.27 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0497	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.33%	Cuántia Requerida
	$A_{s,req.}$	6.95 cm ²	Acero Requerido
	$A_{s,col.}$	11.40 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	24.58 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	20.77 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0684	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.46%	Cuántia Requerida
	$A_{s,req.}$	9.56 cm ²	Acero Requerido
	$A_{s,col.}$	10.15 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	21.99 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

5.3 Extremo Derecho

Superior	M_u	-50.47 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1793	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.20%	Cuántia Requerida
	$A_{s,req.}$	24.99 cm ²	Acero Requerido
	$A_{s,col.}$	26.13 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	52.49 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	30.21 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1015	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.68%	Cuántia Requerida
	$A_{s,req.}$	14.19 cm ²	Acero Requerido
	$A_{s,col.}$	15.24 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	32.28 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

VIGA 25x60 Pisos 7-8 (PORTICO 8 PISOS)

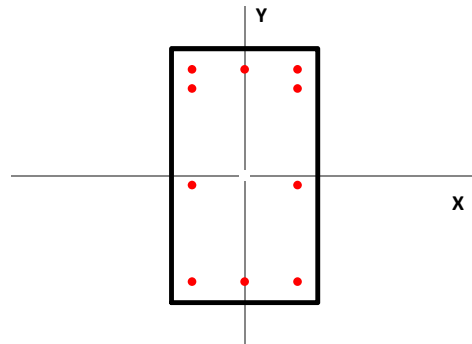
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	25.00 cm	Ancho de la Sección
h	60.00 cm	Altura de la Sección
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	2	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	132 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	---------------	-----------	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	34.94 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	26.22 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	19.80 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	11.81 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	36.89 Ton-m	20.73 Ton-m		Momento Probable Maximo Izq.
$M_{prmax,der}$	36.89 Ton-m	20.73 Ton-m		Momento Probable Maximo Der.
V_{ex}	28.65 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima
A_{min}	4.40 cm ²	Área de Acero Mínima

$P_{max}=0.5P_b$	1.45%	Cuántia Long. Mínima
A_{max}	19.09 cm ²	Área de Acero Mínima

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-26.78 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1690	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.13%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	14.89 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	15.24 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	27.33 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	8.91 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0479	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.32%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	4.40 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	7.63 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	15.12 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.2 Sección Media

Superior	M_u	-4.62 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0245	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.16%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	2.25 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	7.63 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	15.12 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	12.05 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0655	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.44%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	6.02 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	7.63 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	15.12 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.3 Extremo Derecho

Superior	M_u	-26.78 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1690	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.13%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	14.89 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	15.24 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	27.33 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	8.91 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0479	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.32%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	4.40 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	7.63 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	15.12 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

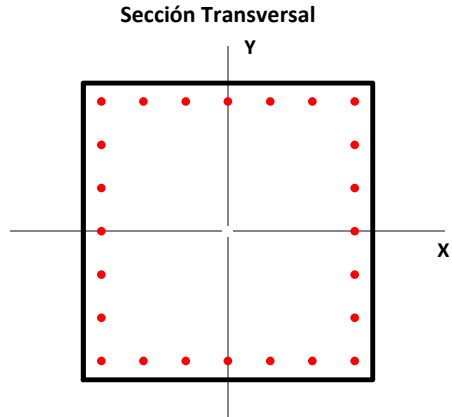
COLUMNA 80x80 Pisos 1-2-3-4 (PORTICO 12 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	80.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	80.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	6400 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	8	Número de Ramas X
N_{Ry}	8	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	6.28 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	6.28 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	7	Número de Disp. X
N_y	7	Número de Disp. Y
N	24	Número de Varillas
Φ_x	20 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	20 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	20 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	75.40 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.18%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.67 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.67 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	9.67 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	9.67 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	120 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	4.38 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	4.38 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 151.41 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

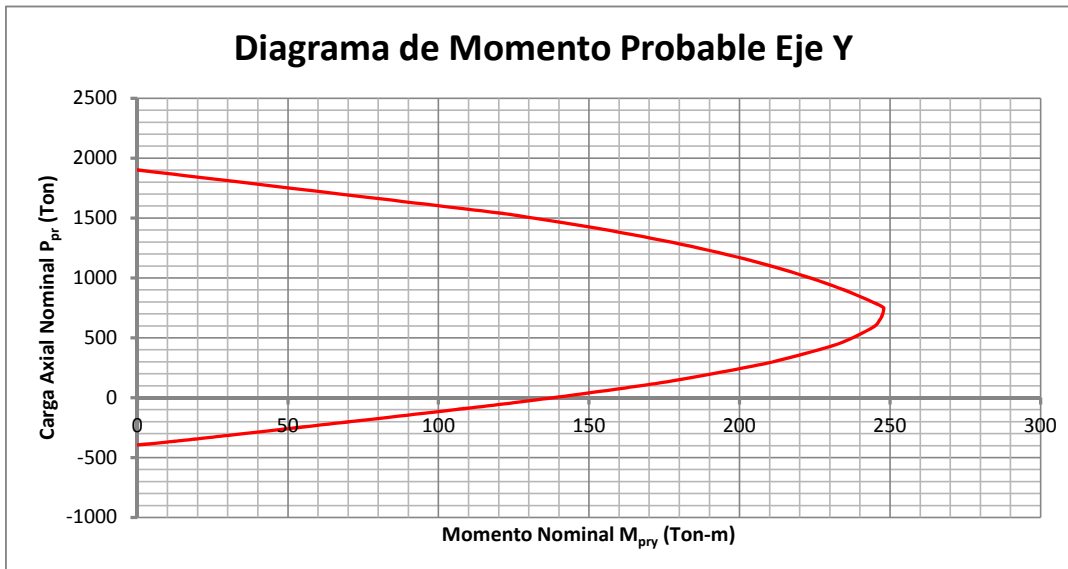
V_{ux} 48.32 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

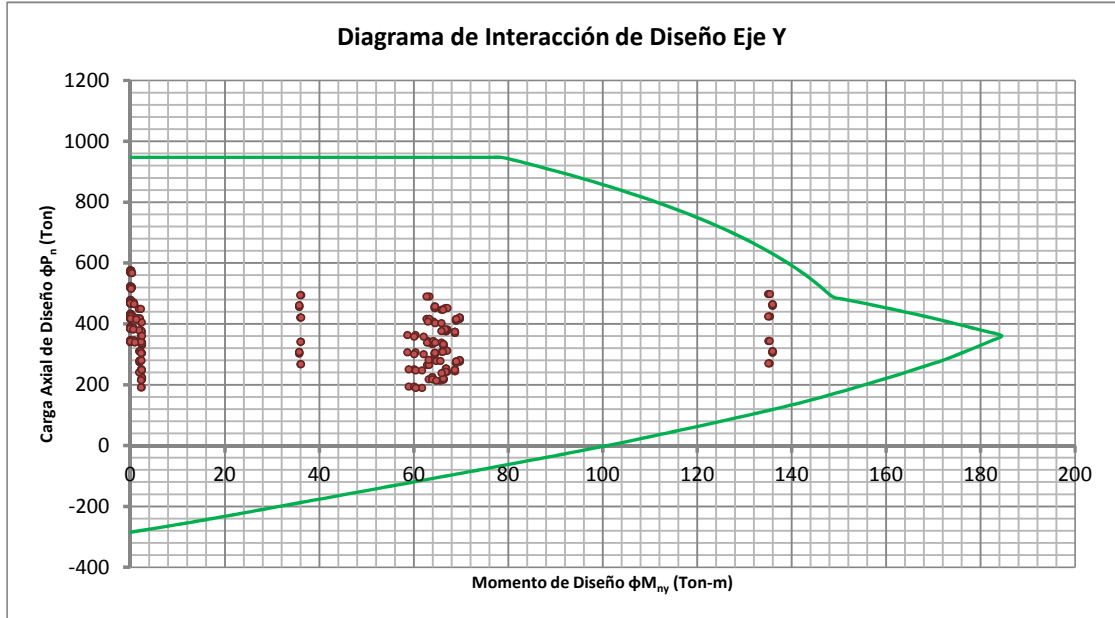
$M_{prmax,y}$ 243.51 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 135.28 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
477.09	0.17	947.40	152.20	0.50	OK
472.63	0.07	947.40	153.66	0.50	OK
468.17	0.31	947.40	155.10	0.49	OK
574.44	0.21	947.40	141.68	0.61	OK
570.62	0.09	947.40	142.03	0.60	OK
566.79	0.38	947.40	142.37	0.60	OK
423.82	135.39	476.78	168.43	0.89	OK
420.00	36.04	940.04	169.50	0.45	OK
416.17	62.74	771.86	170.56	0.54	OK
497.49	135.06	534.51	147.92	0.93	OK
493.67	36.18	947.40	148.31	0.52	OK
489.84	63.35	825.03	148.70	0.59	OK
269.87	135.33	365.89	169.97	0.80	OK
267.00	36.06	810.52	169.41	0.33	OK
264.13	62.84	589.47	168.84	0.45	OK
343.54	135.12	426.39	182.12	0.81	OK
340.67	36.16	885.38	181.68	0.38	OK
337.80	63.24	688.44	181.24	0.49	OK

430.59	0.24	947.40	166.49	0.45	OK
427.47	0.21	947.40	167.39	0.45	OK
424.35	0.17	947.40	168.28	0.45	OK
520.48	0.29	947.40	146.21	0.55	OK
517.81	0.26	947.40	146.41	0.55	OK
515.13	0.23	947.40	146.61	0.54	OK
381.58	67.18	712.97	179.54	0.54	OK
378.90	2.25	947.40	180.25	0.40	OK
376.23	66.25	712.88	180.95	0.53	OK
451.20	66.71	778.90	160.38	0.58	OK
448.53	1.84	947.40	161.19	0.47	OK
445.85	65.90	778.99	161.98	0.57	OK
241.99	67.10	525.85	164.39	0.46	OK
239.99	2.18	947.40	163.98	0.25	OK
237.98	66.19	524.59	163.57	0.45	OK
311.62	66.79	632.99	177.16	0.49	OK
309.61	1.91	947.40	176.84	0.33	OK
307.61	65.97	632.75	176.52	0.49	OK
387.50	0.58	947.40	177.99	0.41	OK
384.39	0.04	947.40	178.80	0.41	OK
381.27	0.66	947.40	179.62	0.40	OK
469.75	0.74	947.40	154.60	0.50	OK
467.08	0.06	947.40	155.45	0.49	OK
464.40	0.85	947.40	156.30	0.49	OK
343.09	63.02	696.13	182.05	0.49	OK
340.41	2.41	947.40	181.64	0.36	OK
337.74	65.91	671.63	181.23	0.50	OK
407.21	64.16	755.60	172.97	0.54	OK
404.54	2.32	947.40	173.67	0.43	OK
401.86	64.60	748.06	174.37	0.54	OK
217.05	63.22	505.86	159.17	0.43	OK
215.04	2.40	947.40	158.75	0.23	OK
213.04	65.68	485.02	158.32	0.44	OK
281.17	63.96	608.19	172.15	0.46	OK
279.17	2.34	947.40	171.77	0.29	OK
277.16	64.83	596.54	171.38	0.46	OK
344.76	0.86	947.40	182.30	0.36	OK
341.64	0.08	947.40	181.83	0.36	OK
338.52	1.01	947.40	181.35	0.36	OK
419.45	1.10	947.40	169.66	0.44	OK
416.77	0.10	947.40	170.39	0.44	OK
414.10	1.29	947.40	171.12	0.44	OK
305.53	58.71	677.91	176.18	0.45	OK
302.86	2.46	947.40	175.75	0.32	OK
300.19	62.11	647.60	175.32	0.46	OK
362.94	60.41	734.83	183.88	0.49	OK

360.27	2.31	947.40	184.25	0.38	OK
357.60	60.11	730.98	184.20	0.49	OK
192.93	59.01	487.11	153.95	0.40	OK
190.92	2.43	947.40	153.51	0.20	OK
188.92	61.76	471.32	153.06	0.40	OK
250.34	60.11	585.61	166.09	0.43	OK
248.33	2.34	947.40	165.68	0.26	OK
246.33	60.46	576.47	165.27	0.43	OK
478.14	0.02	947.40	151.85	0.50	OK
473.68	0.01	947.40	153.32	0.50	OK
469.22	0.03	947.40	154.77	0.50	OK
575.85	0.02	947.40	141.54	0.61	OK
572.03	0.01	947.40	141.90	0.60	OK
568.20	0.04	947.40	142.25	0.60	OK
459.41	135.98	499.36	157.87	0.92	OK
455.58	35.78	947.40	159.05	0.48	OK
451.76	64.51	791.27	160.21	0.57	OK
464.03	136.01	503.32	156.42	0.92	OK
460.20	35.76	947.40	157.63	0.49	OK
456.38	64.45	795.18	158.81	0.57	OK
305.07	135.98	395.10	176.11	0.77	OK
302.20	35.78	853.16	175.65	0.35	OK
299.33	64.50	630.76	175.19	0.47	OK
309.69	136.00	398.85	176.85	0.78	OK
306.82	35.77	857.88	176.39	0.36	OK
303.95	64.46	637.41	175.93	0.48	OK
432.39	0.03	947.40	165.96	0.46	OK
429.27	0.02	947.40	166.87	0.45	OK
426.15	0.00	947.40	167.77	0.45	OK
522.82	0.04	947.40	146.03	0.55	OK
520.15	0.02	947.40	146.23	0.55	OK
517.48	0.00	947.40	146.44	0.55	OK
415.91	69.70	732.18	170.63	0.57	OK
413.23	1.98	947.40	171.36	0.44	OK
410.56	69.01	731.01	172.08	0.56	OK
420.46	69.76	736.01	169.37	0.57	OK
417.79	2.01	947.40	170.11	0.44	OK
415.12	69.00	735.30	170.84	0.56	OK
275.69	69.71	564.10	171.10	0.49	OK
273.68	1.99	947.40	170.71	0.29	OK
271.68	69.01	562.18	170.32	0.48	OK
280.24	69.75	570.66	171.98	0.49	OK
278.24	2.01	947.40	171.59	0.29	OK
276.24	69.01	569.16	171.20	0.49	OK
389.27	0.02	947.40	177.56	0.41	OK
386.15	0.00	947.40	178.34	0.41	OK
383.03	0.01	947.40	179.16	0.40	OK

472.04	0.02	947.40	153.86	0.50	OK
469.36	0.01	947.40	154.72	0.50	OK
466.69	0.01	947.40	155.58	0.49	OK
374.77	66.87	707.66	181.34	0.53	OK
372.10	2.40	947.40	182.03	0.39	OK
369.43	68.73	691.00	182.72	0.53	OK
379.03	66.84	712.30	180.21	0.53	OK
376.36	2.39	947.40	180.92	0.40	OK
373.69	68.74	695.54	181.62	0.54	OK
248.11	66.87	537.55	165.64	0.46	OK
246.11	2.40	947.40	165.23	0.26	OK
244.10	68.73	519.58	164.82	0.47	OK
252.38	66.85	544.75	166.50	0.46	OK
250.37	2.39	947.40	166.10	0.26	OK
248.37	68.74	526.62	165.69	0.47	OK
346.14	0.01	947.40	182.51	0.37	OK
343.03	0.01	947.40	182.04	0.36	OK
339.91	0.02	947.40	181.56	0.36	OK
421.24	0.01	947.40	169.15	0.44	OK
418.56	0.01	947.40	169.90	0.44	OK
415.89	0.03	947.40	170.63	0.44	OK
333.72	63.96	678.99	180.62	0.49	OK
331.05	2.50	947.40	180.21	0.35	OK
328.38	66.32	657.60	179.80	0.50	OK
337.51	63.94	683.68	181.20	0.49	OK
334.83	2.51	947.40	180.79	0.35	OK
332.16	66.36	662.04	180.38	0.50	OK
220.63	63.96	507.76	159.93	0.43	OK
218.62	2.50	947.40	159.51	0.23	OK
216.62	66.32	486.72	159.08	0.45	OK
224.41	63.94	514.74	160.74	0.44	OK
222.41	2.51	947.40	160.31	0.23	OK
220.40	66.35	492.97	159.89	0.45	OK
478.14	0.02	947.40	151.85	0.50	OK
473.68	0.01	947.40	153.32	0.50	OK
469.22	0.03	947.40	154.77	0.50	OK
575.85	0.02	947.40	141.54	0.61	OK
572.03	0.01	947.40	141.90	0.60	OK
568.20	0.04	947.40	142.25	0.60	OK
459.41	136.01	499.26	157.87	0.92	OK
455.58	35.76	947.40	159.05	0.48	OK
451.76	64.45	791.62	160.21	0.57	OK
464.03	135.98	503.42	156.42	0.92	OK
460.20	35.78	947.40	157.63	0.49	OK
456.38	64.51	794.83	158.81	0.57	OK
305.07	136.00	395.06	176.11	0.77	OK
302.20	35.77	853.24	175.65	0.35	OK

299.33	64.46	631.03	175.19	0.47	OK
309.69	135.98	398.89	176.85	0.78	OK
306.82	35.78	857.79	176.39	0.36	OK
303.95	64.50	637.15	175.93	0.48	OK
432.39	0.03	947.40	165.96	0.46	OK
429.27	0.02	947.40	166.87	0.45	OK
426.15	0.00	947.40	167.77	0.45	OK
522.82	0.04	947.40	146.03	0.55	OK
520.15	0.02	947.40	146.23	0.55	OK
517.48	0.00	947.40	146.44	0.55	OK
415.91	69.76	731.81	170.63	0.57	OK
413.23	2.01	947.40	171.36	0.44	OK
410.56	69.00	731.05	172.08	0.56	OK
420.46	69.70	736.39	169.37	0.57	OK
417.79	1.98	947.40	170.11	0.44	OK
415.12	69.01	735.27	170.84	0.56	OK
275.69	69.75	563.83	171.10	0.49	OK
273.68	2.01	947.40	170.71	0.29	OK
271.68	69.01	562.20	170.32	0.48	OK
280.24	69.71	570.93	171.98	0.49	OK
278.24	1.99	947.40	171.59	0.29	OK
276.24	69.01	569.14	171.20	0.49	OK
389.27	0.02	947.40	177.56	0.41	OK
386.15	0.00	947.40	178.34	0.41	OK
383.03	0.01	947.40	179.16	0.40	OK
472.04	0.02	947.40	153.86	0.50	OK
469.36	0.01	947.40	154.72	0.50	OK
466.69	0.01	947.40	155.58	0.49	OK
374.77	66.84	707.83	181.34	0.53	OK
372.10	2.39	947.40	182.03	0.39	OK
369.43	68.74	690.93	182.72	0.53	OK
379.03	66.87	712.13	180.21	0.53	OK
376.36	2.40	947.40	180.92	0.40	OK
373.69	68.73	695.60	181.62	0.54	OK
248.11	66.85	537.67	165.64	0.46	OK
246.11	2.39	947.40	165.23	0.26	OK
244.10	68.74	519.54	164.82	0.47	OK
252.38	66.87	544.63	166.50	0.46	OK
250.37	2.40	947.40	166.10	0.26	OK
248.37	68.73	526.67	165.69	0.47	OK
346.14	0.01	947.40	182.51	0.37	OK
343.03	0.01	947.40	182.04	0.36	OK
339.91	0.02	947.40	181.56	0.36	OK
421.24	0.01	947.40	169.15	0.44	OK
418.56	0.01	947.40	169.90	0.44	OK
415.89	0.03	947.40	170.63	0.44	OK
333.72	63.94	679.10	180.62	0.49	OK

331.05	2.51	947.40	180.21	0.35	OK
328.38	66.36	657.33	179.80	0.50	OK
337.51	63.96	683.57	181.20	0.49	OK
334.83	2.50	947.40	180.79	0.35	OK
332.16	66.32	662.31	180.38	0.50	OK
220.63	63.94	507.83	159.93	0.43	OK
218.62	2.51	947.40	159.51	0.23	OK
216.62	66.35	486.56	159.08	0.45	OK
224.41	63.96	514.66	160.74	0.44	OK
222.41	2.50	947.40	160.31	0.23	OK
220.40	66.32	493.13	159.89	0.45	OK
477.09	0.17	947.40	152.20	0.50	OK
472.63	0.07	947.40	153.66	0.50	OK
468.17	0.31	947.40	155.10	0.49	OK
574.44	0.21	947.40	141.68	0.61	OK
570.62	0.09	947.40	142.03	0.60	OK
566.79	0.38	947.40	142.37	0.60	OK
423.82	135.06	477.34	168.43	0.89	OK
420.00	36.18	939.20	169.50	0.45	OK
416.17	63.35	768.34	170.56	0.54	OK
497.49	135.39	533.54	147.92	0.93	OK
493.67	36.04	947.40	148.31	0.52	OK
489.84	62.74	828.19	148.70	0.59	OK
269.87	135.12	366.33	169.97	0.79	OK
267.00	36.16	809.64	169.41	0.33	OK
264.13	63.24	586.79	168.84	0.45	OK
343.54	135.33	425.99	182.12	0.81	OK
340.67	36.06	886.12	181.68	0.38	OK
337.80	62.84	691.02	181.24	0.49	OK
430.59	0.24	947.40	166.49	0.45	OK
427.47	0.21	947.40	167.39	0.45	OK
424.35	0.17	947.40	168.28	0.45	OK
520.48	0.29	947.40	146.21	0.55	OK
517.81	0.26	947.40	146.41	0.55	OK
515.13	0.23	947.40	146.61	0.54	OK
381.58	66.71	715.72	179.54	0.53	OK
378.90	1.84	947.40	180.25	0.40	OK
376.23	65.90	714.95	180.95	0.53	OK
451.20	67.18	776.37	160.38	0.58	OK
448.53	2.25	947.40	161.19	0.47	OK
445.85	66.25	777.09	161.98	0.57	OK
241.99	66.79	527.77	164.39	0.46	OK
239.99	1.91	947.40	163.98	0.25	OK
237.98	65.97	525.98	163.57	0.45	OK
311.62	67.10	631.04	177.16	0.49	OK
309.61	2.18	947.40	176.84	0.33	OK
307.61	66.19	631.34	176.52	0.49	OK

387.50	0.58	947.40	177.99	0.41	OK
384.39	0.04	947.40	178.80	0.41	OK
381.27	0.66	947.40	179.62	0.40	OK
469.75	0.74	947.40	154.60	0.50	OK
467.08	0.06	947.40	155.45	0.49	OK
464.40	0.85	947.40	156.30	0.49	OK
343.09	64.16	688.93	182.05	0.50	OK
340.41	2.32	947.40	181.64	0.36	OK
337.74	64.60	679.80	181.23	0.50	OK
407.21	63.02	762.25	172.97	0.53	OK
404.54	2.41	947.40	173.67	0.43	OK
401.86	65.91	740.43	174.37	0.54	OK
217.05	63.96	501.17	159.17	0.43	OK
215.04	2.34	947.40	158.75	0.23	OK
213.04	64.83	489.00	158.32	0.44	OK
281.17	63.22	613.08	172.15	0.46	OK
279.17	2.40	947.40	171.77	0.29	OK
277.16	65.68	591.12	171.38	0.47	OK
344.76	0.86	947.40	182.30	0.36	OK
341.64	0.08	947.40	181.83	0.36	OK
338.52	1.01	947.40	181.35	0.36	OK
419.45	1.10	947.40	169.66	0.44	OK
416.77	0.10	947.40	170.39	0.44	OK
414.10	1.29	947.40	171.12	0.44	OK
305.53	60.41	666.30	176.18	0.46	OK
302.86	2.31	947.40	175.75	0.32	OK
300.19	60.11	661.08	175.32	0.45	OK
362.94	58.71	745.68	183.88	0.49	OK
360.27	2.46	947.40	184.25	0.38	OK
357.60	62.11	718.27	184.20	0.50	OK
192.93	60.11	482.59	153.95	0.40	OK
190.92	2.34	947.40	153.51	0.20	OK
188.92	60.46	476.33	153.06	0.40	OK
250.34	59.01	593.35	166.09	0.42	OK
248.33	2.43	947.40	165.68	0.26	OK
246.33	61.76	567.62	165.27	0.43	OK

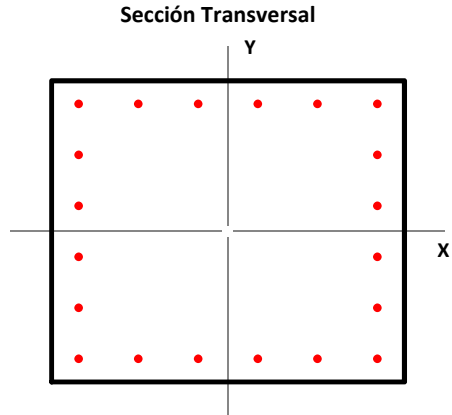
COLUMNA 65x65 Pisos 1-2-3-4 (PORTICO 12 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	65.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	65.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	4225 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	6.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	6.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	5.11 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	5.11 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	6	Número de Disp. X
N_y	6	Número de Disp. Y
N	20	Número de Varillas
Φ_x	20 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	20 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	20 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	62.83 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.49%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.00 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.00 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	9.00 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	9.00 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	120 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.48 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.48 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 98.90 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

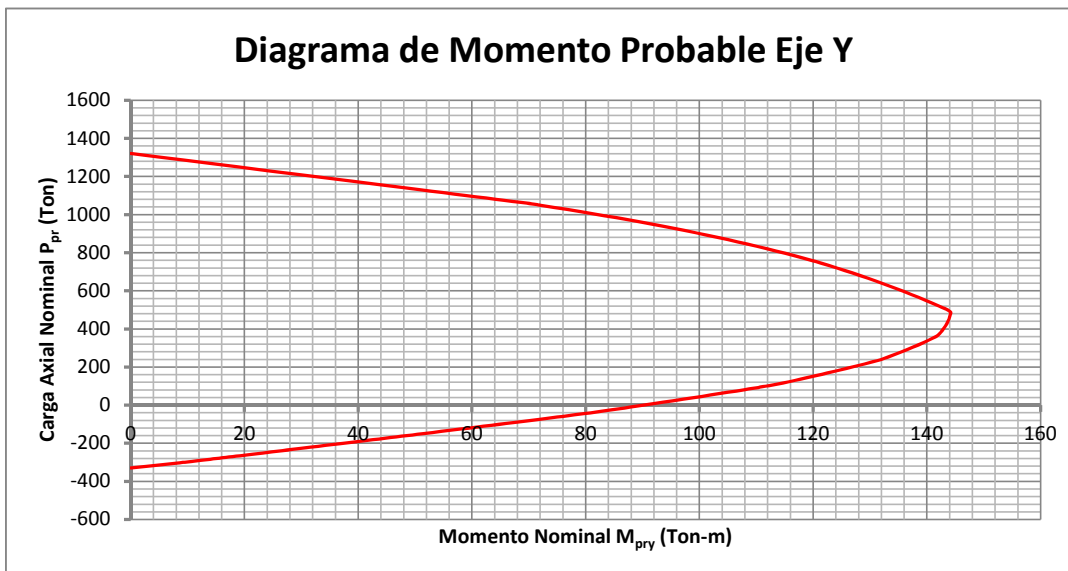
V_{ux} 27.17 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

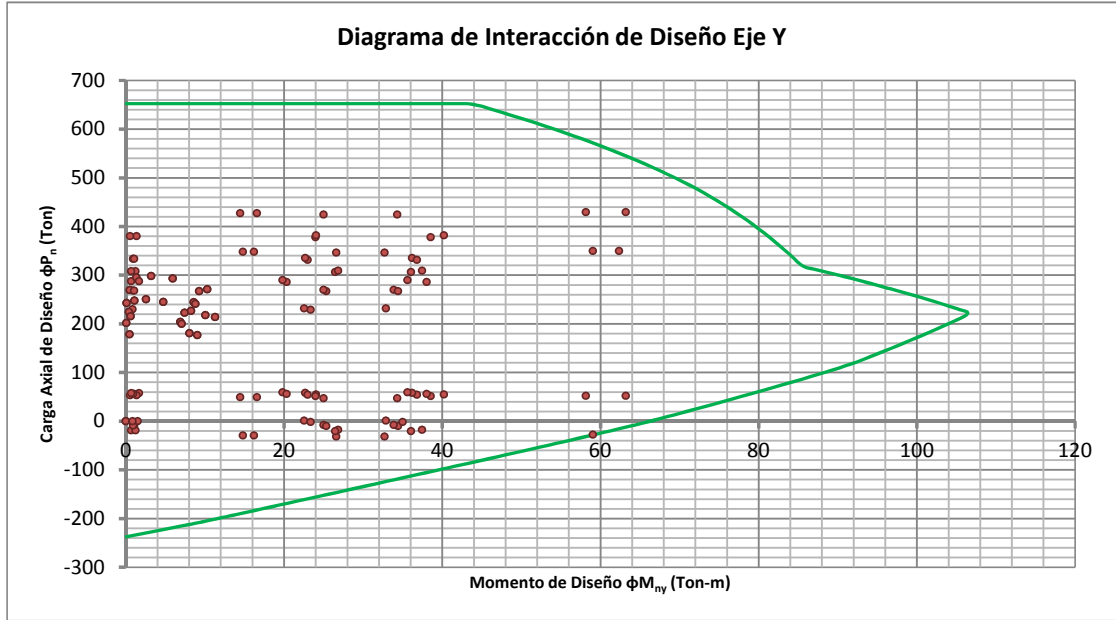
$M_{prmax,y}$ 143.54 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 79.74 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
250.50	2.58	652.33	101.30	0.38	OK
247.56	1.09	652.33	101.90	0.38	OK
244.61	4.75	652.33	102.48	0.37	OK
297.92	3.22	652.33	90.63	0.46	OK
295.40	1.36	652.33	91.25	0.45	OK
292.87	5.94	652.33	91.85	0.45	OK
51.91	58.17		78.03	0.75	OK
49.38	16.58		77.47	0.21	OK
46.86	34.33		76.92	0.45	OK
429.53	63.23	484.46	77.02	0.89	OK
427.00	14.46	652.33	77.25	0.65	OK
424.48	25.02	652.33	77.48	0.65	OK
-27.77	59.04		59.14	1.00	OK
-29.66	16.22		58.64	0.28	OK
-31.56	32.73		58.15	0.56	OK
349.85	62.36	431.22	83.40	0.81	OK
347.95	14.82	652.33	83.54	0.53	OK
346.06	26.62	629.90	83.67	0.55	OK

226.61	8.26	652.33	105.88	0.35	OK
224.55	0.41	652.33	106.25	0.34	OK
222.50	7.45	652.33	106.33	0.34	OK
270.79	10.32	652.33	96.92	0.42	OK
269.03	0.51	652.33	97.32	0.41	OK
267.26	9.30	652.33	97.72	0.41	OK
54.76	24.06		78.66	0.31	OK
52.99	0.56		78.27	0.01	OK
51.23	38.57		77.88	0.50	OK
381.56	40.24	567.05	81.07	0.67	OK
379.80	1.36	652.33	81.21	0.58	OK
378.04	23.98	652.33	81.35	0.58	OK
-17.72	26.84		61.77	0.43	OK
-19.05	0.70		61.43	0.01	OK
-20.37	36.06		61.09	0.59	OK
309.08	37.46	534.45	87.83	0.58	OK
307.76	1.22	652.33	88.17	0.47	OK
306.44	26.49	608.47	88.51	0.50	OK
203.81	6.89	652.33	104.44	0.31	OK
201.75	0.08	652.33	104.16	0.31	OK
199.69	7.06	652.33	103.89	0.31	OK
244.32	8.62	652.33	102.54	0.37	OK
242.55	0.11	652.33	102.89	0.37	OK
240.79	8.83	652.33	103.23	0.37	OK
57.85	22.71		79.34	0.29	OK
56.08	1.08		78.95	0.01	OK
54.32	36.82		78.56	0.47	OK
335.06	36.21	561.55	84.41	0.60	OK
333.29	0.91	652.33	84.53	0.51	OK
331.53	22.99	647.24	84.65	0.51	OK
-7.58	25.03		64.37	0.39	OK
-8.91	1.05		64.04	0.02	OK
-10.23	34.44		63.72	0.54	OK
269.63	33.89	525.48	97.18	0.51	OK
268.30	0.94	652.33	97.48	0.41	OK
266.98	25.37	589.58	97.78	0.45	OK
180.68	8.05	652.33	101.26	0.28	OK
178.62	0.49	652.33	100.97	0.27	OK
176.56	9.04	652.33	100.68	0.27	OK
217.43	10.07	652.33	106.10	0.33	OK
215.66	0.62	652.33	106.00	0.33	OK
213.90	11.30	652.33	105.77	0.33	OK
59.30	19.84		79.65	0.25	OK
57.53	1.67		79.27	0.02	OK
55.77	38.05		78.88	0.48	OK
289.54	35.62	530.78	92.64	0.55	OK

287.77	0.70	652.33	93.05	0.44	OK
286.01	20.33	643.22	93.46	0.44	OK
1.03	22.56		66.51	0.34	OK
-0.30	1.51		66.18	0.02	OK
-1.62	35.00		65.86	0.53	OK
231.27	32.91	493.53	105.02	0.47	OK
229.95	0.87	652.33	105.27	0.35	OK
228.63	23.38	573.91	105.51	0.40	OK
250.50	2.58	652.33	101.30	0.38	OK
247.56	1.09	652.33	101.90	0.38	OK
244.61	4.75	652.33	102.48	0.37	OK
297.92	3.22	652.33	90.63	0.46	OK
295.40	1.36	652.33	91.25	0.45	OK
292.87	5.94	652.33	91.85	0.45	OK
51.91	63.23		78.03	0.81	OK
49.38	14.46		77.47	0.19	OK
46.86	25.02		76.92	0.33	OK
429.53	58.17	506.46	77.02	0.85	OK
427.00	16.58	652.33	77.25	0.65	OK
424.48	34.33	620.96	77.48	0.68	OK
-29.66	14.82		58.64	0.25	OK
-31.56	26.62		58.15	0.46	OK
349.85	59.04	446.67	83.40	0.78	OK
347.95	16.22	652.33	83.54	0.53	OK
346.06	32.73	590.54	83.67	0.59	OK
226.61	8.26	652.33	105.88	0.35	OK
224.55	0.41	652.33	106.25	0.34	OK
222.50	7.45	652.33	106.33	0.34	OK
270.79	10.32	652.33	96.92	0.42	OK
269.03	0.51	652.33	97.32	0.41	OK
267.26	9.30	652.33	97.72	0.41	OK
54.76	40.24		78.66	0.51	OK
52.99	1.36		78.27	0.02	OK
51.23	23.98		77.88	0.31	OK
381.56	24.06	652.33	81.07	0.58	OK
379.80	0.56	652.33	81.21	0.58	OK
378.04	38.57	574.38	81.35	0.66	OK
-17.72	37.46		61.77	0.61	OK
-19.05	1.22		61.43	0.02	OK
-20.37	26.49		61.09	0.43	OK
309.08	26.84	607.58	87.83	0.51	OK
307.76	0.70	652.33	88.17	0.47	OK
306.44	36.06	541.59	88.51	0.57	OK
203.81	6.89	652.33	104.44	0.31	OK
201.75	0.08	652.33	104.16	0.31	OK
199.69	7.06	652.33	103.89	0.31	OK
244.32	8.62	652.33	102.54	0.37	OK

242.55	0.11	652.33	102.89	0.37	OK
240.79	8.83	652.33	103.23	0.37	OK
57.85	36.21		79.34	0.46	OK
56.08	0.91		78.95	0.01	OK
54.32	22.99		78.56	0.29	OK
335.06	22.71	649.99	84.41	0.52	OK
333.29	1.08	652.33	84.53	0.51	OK
331.53	36.82	555.28	84.65	0.60	OK
-7.58	33.89		64.37	0.53	OK
-8.91	0.94		64.04	0.01	OK
-10.23	25.37		63.72	0.40	OK
269.63	25.03	594.35	97.18	0.45	OK
268.30	1.05	652.33	97.48	0.41	OK
266.98	34.44	518.94	97.78	0.51	OK
180.68	8.05	652.33	101.26	0.28	OK
178.62	0.49	652.33	100.97	0.27	OK
176.56	9.04	652.33	100.68	0.27	OK
217.43	10.07	652.33	106.10	0.33	OK
215.66	0.62	652.33	106.00	0.33	OK
213.90	11.30	652.33	105.77	0.33	OK
59.30	35.62		79.65	0.45	OK
57.53	0.70		79.27	0.01	OK
55.77	20.33		78.88	0.26	OK
289.54	19.84	648.92	92.64	0.45	OK
287.77	1.67	652.33	93.05	0.44	OK
286.01	38.05	511.09	93.46	0.56	OK
1.03	32.91		66.51	0.49	OK
-0.30	0.87		66.18	0.01	OK
-1.62	23.38		65.86	0.35	OK
231.27	22.56	584.09	105.02	0.40	OK
229.95	1.51	652.33	105.27	0.35	OK
228.63	35.00	473.87	105.51	0.48	OK

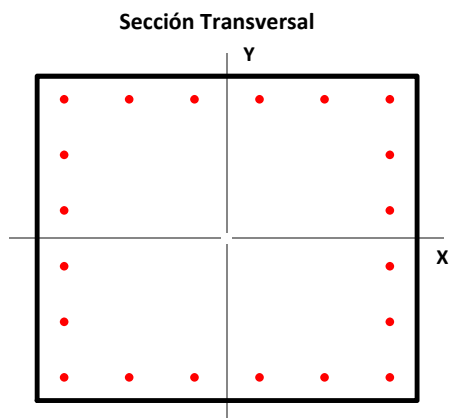
COLUMNA 70x70 Pisos 5-6-7 (PORTICO 12 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	70.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	70.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	4900 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	6	Número de Ramas X
N_{Ry}	6	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	4.71 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	4.71 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	6	Número de Disp. X
N_y	6	Número de Disp. Y
N	20	Número de Varillas
Φ_x	20 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	20 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	20 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	62.83 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.28%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	12.00 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	12.00 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	10.00 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	10.00 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	120 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.78 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.78 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 98.71 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

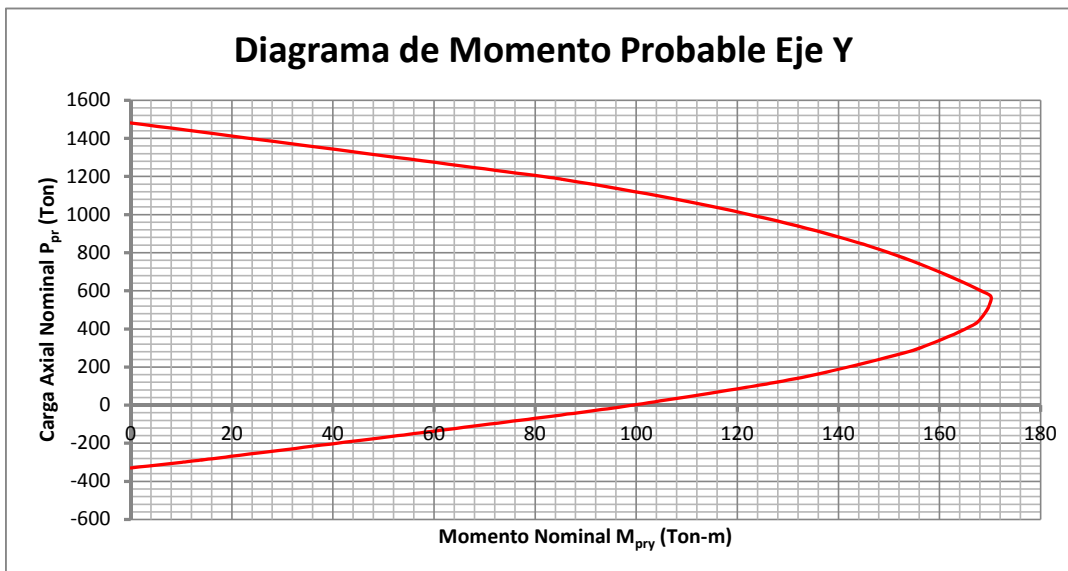
V_{ux} 42.67 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

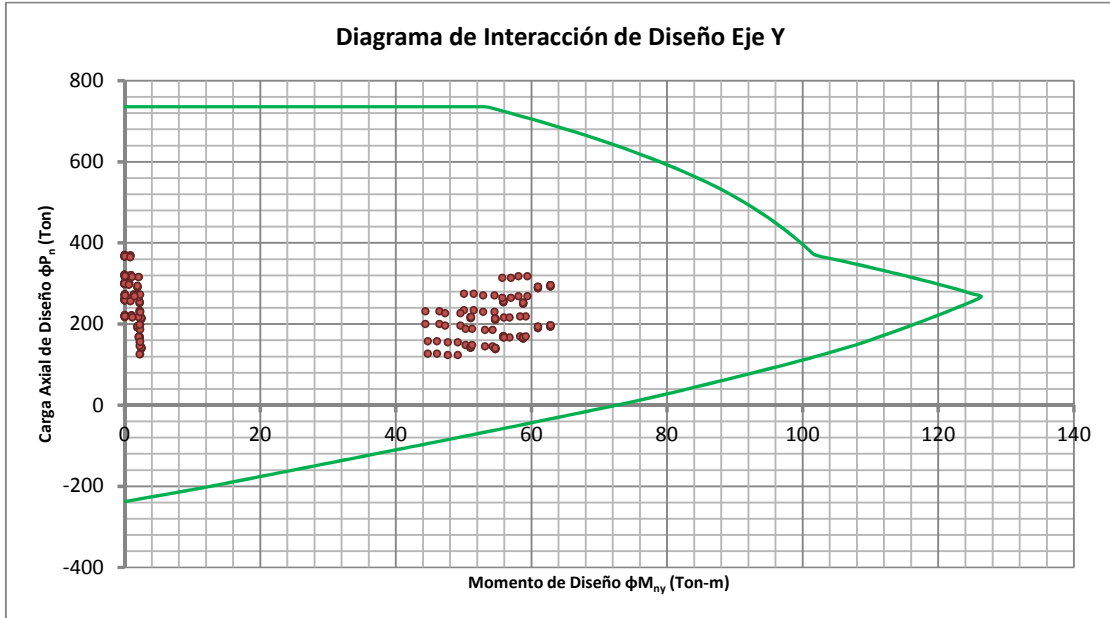
$M_{prmax,y}$ 162.75 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 90.41 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
302.18	0.66	735.87	119.14	0.41	OK
299.79	0.01	735.87	119.68	0.41	OK
297.40	0.64	735.87	120.22	0.40	OK
369.28	0.85	735.87	102.14	0.50	OK
367.24	0.02	735.87	102.50	0.50	OK
365.19	0.82	735.87	103.04	0.50	OK
268.87	58.10	445.75	126.16	0.60	OK
266.82	2.07	735.87	126.19	0.36	OK
264.77	56.99	447.03	125.97	0.59	OK
318.08	59.41	493.03	115.36	0.65	OK
316.03	2.09	735.87	115.87	0.43	OK
313.98	55.72	509.54	116.37	0.62	OK
169.65	58.33	328.26	111.52	0.52	OK
168.12	2.07	735.87	111.26	0.23	OK
166.58	56.76	329.97	111.00	0.51	OK
218.86	59.18	375.11	119.50	0.58	OK
217.33	2.09	735.87	119.26	0.30	OK
215.79	55.94	388.00	119.02	0.56	OK

261.69	0.73	735.87	125.66	0.36	OK
259.30	0.07	735.87	125.41	0.35	OK
256.92	0.86	735.87	125.11	0.35	OK
320.81	0.94	735.87	114.68	0.44	OK
318.76	0.08	735.87	115.19	0.43	OK
316.72	1.11	735.87	115.70	0.43	OK
234.30	50.05	449.45	121.84	0.52	OK
232.25	2.32	735.87	121.53	0.32	OK
230.20	54.57	416.02	121.23	0.55	OK
274.63	51.50	491.77	125.01	0.56	OK
272.58	2.19	735.87	125.42	0.37	OK
270.54	52.86	478.38	125.83	0.57	OK
148.06	50.30	330.53	107.71	0.47	OK
146.53	2.30	735.87	107.40	0.20	OK
144.99	54.27	312.11	107.10	0.51	OK
188.40	51.24	373.30	114.64	0.50	OK
186.86	2.21	735.87	114.39	0.25	OK
185.33	53.16	362.19	114.14	0.51	OK
221.51	1.05	735.87	119.91	0.30	OK
219.12	0.04	735.87	119.54	0.30	OK
216.74	1.13	735.87	119.17	0.29	OK
272.73	1.35	735.87	125.39	0.37	OK
270.69	0.06	735.87	125.80	0.37	OK
268.64	1.47	735.87	126.21	0.37	OK
200.36	44.38	437.77	116.59	0.46	OK
198.32	2.31	735.87	116.25	0.27	OK
196.27	49.54	396.30	115.92	0.50	OK
231.16	46.46	469.26	121.37	0.49	OK
229.12	2.22	735.87	121.06	0.31	OK
227.07	47.28	457.77	120.75	0.50	OK
127.00	44.74		103.40	0.43	OK
125.47	2.30		103.08	0.02	OK
123.93	49.14		102.76	0.48	OK
157.80	46.09	358.91	109.50	0.44	OK
156.26	2.24	735.87	109.24	0.21	OK
154.73	47.68	349.01	108.98	0.44	OK
303.18	0.01	735.87	118.91	0.41	OK
300.79	0.00	735.87	119.46	0.41	OK
298.40	0.01	735.87	119.99	0.41	OK
370.57	0.02	735.87	101.92	0.50	OK
368.52	0.00	735.87	102.27	0.50	OK
366.48	0.01	735.87	102.66	0.50	OK
292.79	62.83	447.98	121.23	0.65	OK
290.74	1.91	735.87	121.67	0.40	OK
288.69	60.95	453.26	122.11	0.64	OK
296.14	62.80	451.77	120.50	0.66	OK

294.09	1.90	735.87	120.95	0.40	OK
292.04	60.96	456.96	121.39	0.64	OK
193.22	62.83	338.91	115.43	0.57	OK
191.69	1.91	735.87	115.18	0.26	OK
190.15	60.95	341.60	114.93	0.56	OK
196.58	62.81	342.21	115.97	0.57	OK
195.04	1.91	735.87	115.72	0.27	OK
193.51	60.96	344.88	115.48	0.56	OK
262.57	0.01	735.87	125.75	0.36	OK
260.18	0.00	735.87	125.50	0.35	OK
257.79	0.01	735.87	125.24	0.35	OK
321.93	0.01	735.87	114.40	0.44	OK
319.88	0.01	735.87	114.91	0.43	OK
317.84	0.02	735.87	115.42	0.43	OK
253.83	55.86	439.83	124.68	0.58	OK
251.79	2.22	735.87	124.39	0.34	OK
249.74	58.77	418.34	124.10	0.60	OK
256.83	55.85	443.68	125.10	0.58	OK
254.78	2.23	735.87	124.81	0.35	OK
252.74	58.80	421.96	124.52	0.60	OK
167.30	55.86	333.86	111.12	0.50	OK
165.76	2.22	735.87	110.86	0.23	OK
164.23	58.78	320.60	110.60	0.53	OK
170.29	55.85	337.26	111.63	0.50	OK
168.76	2.23	735.87	111.37	0.23	OK
167.22	58.79	323.98	111.11	0.53	OK
221.93	0.03	735.87	119.97	0.30	OK
219.55	0.01	735.87	119.60	0.30	OK
217.16	0.04	735.87	119.23	0.30	OK
273.26	0.04	735.87	125.28	0.37	OK
271.21	0.01	735.87	125.69	0.37	OK
269.16	0.06	735.87	126.10	0.37	OK
214.94	51.07	415.27	118.89	0.52	OK
212.90	2.48	735.87	118.57	0.29	OK
210.85	54.64	388.12	118.25	0.54	OK
217.41	51.01	419.28	119.27	0.52	OK
215.36	2.49	735.87	118.96	0.29	OK
213.32	54.73	391.20	118.64	0.55	OK
141.44	51.06	318.96	106.40	0.48	OK
139.91	2.48	735.87	106.08	0.19	OK
138.37	54.66	301.84	105.77	0.52	OK
143.91	51.02	322.38	106.89	0.48	OK
142.37	2.49	735.87	106.59	0.19	OK
140.84	54.71	305.03	106.27	0.51	OK
303.18	0.01	735.87	118.91	0.41	OK
300.79	0.00	735.87	119.46	0.41	OK
298.40	0.01	735.87	119.99	0.41	OK

370.57	0.02	735.87	101.92	0.50	OK
368.52	0.00	735.87	102.27	0.50	OK
366.48	0.01	735.87	102.66	0.50	OK
292.79	62.80	448.11	121.23	0.65	OK
290.74	1.90	735.87	121.67	0.40	OK
288.69	60.96	453.20	122.11	0.64	OK
296.14	62.83	451.63	120.50	0.66	OK
294.09	1.91	735.87	120.95	0.40	OK
292.04	60.95	457.02	121.39	0.64	OK
193.22	62.81	338.96	115.43	0.57	OK
191.69	1.91	735.87	115.18	0.26	OK
190.15	60.96	341.58	114.93	0.56	OK
196.58	62.83	342.15	115.97	0.57	OK
195.04	1.91	735.87	115.72	0.27	OK
193.51	60.95	344.90	115.48	0.56	OK
262.57	0.01	735.87	125.75	0.36	OK
260.18	0.00	735.87	125.50	0.35	OK
257.79	0.01	735.87	125.24	0.35	OK
321.93	0.01	735.87	114.40	0.44	OK
319.88	0.01	735.87	114.91	0.43	OK
317.84	0.02	735.87	115.42	0.43	OK
253.83	55.85	439.89	124.68	0.58	OK
251.79	2.23	735.87	124.39	0.34	OK
249.74	58.80	418.20	124.10	0.60	OK
256.83	55.86	443.61	125.10	0.58	OK
254.78	2.22	735.87	124.81	0.35	OK
252.74	58.77	422.11	124.52	0.60	OK
167.30	55.85	333.88	111.12	0.50	OK
165.76	2.23	735.87	110.86	0.23	OK
164.23	58.79	320.54	110.60	0.53	OK
170.29	55.86	337.23	111.63	0.50	OK
168.76	2.22	735.87	111.37	0.23	OK
167.22	58.78	324.04	111.11	0.53	OK
221.93	0.03	735.87	119.97	0.30	OK
219.55	0.01	735.87	119.60	0.30	OK
217.16	0.04	735.87	119.23	0.30	OK
273.26	0.04	735.87	125.28	0.37	OK
271.21	0.01	735.87	125.69	0.37	OK
269.16	0.06	735.87	126.10	0.37	OK
214.94	51.01	415.65	118.89	0.52	OK
212.90	2.49	735.87	118.57	0.29	OK
210.85	54.73	387.63	118.25	0.54	OK
217.41	51.07	418.90	119.27	0.52	OK
215.36	2.48	735.87	118.96	0.29	OK
213.32	54.64	391.68	118.64	0.54	OK
141.44	51.02	319.11	106.40	0.48	OK
139.91	2.49	735.87	106.08	0.19	OK

138.37	54.71	301.65	105.77	0.52	OK
143.91	51.06	322.23	106.89	0.48	OK
142.37	2.48	735.87	106.59	0.19	OK
140.84	54.66	305.22	106.27	0.51	OK
302.18	0.66	735.87	119.14	0.41	OK
299.79	0.01	735.87	119.68	0.41	OK
297.40	0.64	735.87	120.22	0.40	OK
369.28	0.85	735.87	102.14	0.50	OK
367.24	0.02	735.87	102.50	0.50	OK
365.19	0.82	735.87	103.04	0.50	OK
268.87	59.41	438.52	126.16	0.61	OK
266.82	2.09	735.87	126.19	0.36	OK
264.77	55.72	454.30	125.97	0.58	OK
318.08	58.10	500.26	115.36	0.64	OK
316.03	2.07	735.87	115.87	0.43	OK
313.98	56.99	502.31	116.37	0.63	OK
169.65	59.18	325.48	111.52	0.53	OK
168.12	2.09	735.87	111.26	0.23	OK
166.58	55.94	332.75	111.00	0.50	OK
218.86	58.33	379.53	119.50	0.58	OK
217.33	2.07	735.87	119.26	0.30	OK
215.79	56.76	383.47	119.02	0.56	OK
261.69	0.73	735.87	125.66	0.36	OK
259.30	0.07	735.87	125.41	0.35	OK
256.92	0.86	735.87	125.11	0.35	OK
320.81	0.94	735.87	114.68	0.44	OK
318.76	0.08	735.87	115.19	0.43	OK
316.72	1.11	735.87	115.70	0.43	OK
234.30	51.50	440.23	121.84	0.53	OK
232.25	2.19	735.87	121.53	0.32	OK
230.20	52.86	426.15	121.23	0.54	OK
274.63	50.05	500.98	125.01	0.55	OK
272.58	2.32	735.87	125.42	0.37	OK
270.54	54.57	468.06	125.83	0.58	OK
148.06	51.24	326.99	107.71	0.48	OK
146.53	2.21	735.87	107.40	0.20	OK
144.99	53.16	316.03	107.10	0.50	OK
188.40	50.30	378.95	114.64	0.50	OK
186.86	2.30	735.87	114.39	0.25	OK
185.33	54.27	358.43	114.14	0.52	OK
221.51	1.05	735.87	119.91	0.30	OK
219.12	0.04	735.87	119.54	0.30	OK
216.74	1.13	735.87	119.17	0.29	OK
272.73	1.35	735.87	125.39	0.37	OK
270.69	0.06	735.87	125.80	0.37	OK
268.64	1.47	735.87	126.21	0.37	OK
200.36	46.46	423.05	116.59	0.47	OK

198.32	2.22	735.87	116.25	0.27	OK
196.27	47.28	410.94	115.92	0.48	OK
231.16	44.38	484.14	121.37	0.48	OK
229.12	2.31	735.87	121.06	0.31	OK
227.07	49.54	442.63	120.75	0.51	OK
127.00	46.09		103.40	0.45	OK
125.47	2.24		103.08	0.02	OK
123.93	47.68		102.76	0.46	OK
157.80	44.74	364.30	109.50	0.43	OK
156.26	2.30	735.87	109.24	0.21	OK
154.73	49.14	343.36	108.98	0.45	OK

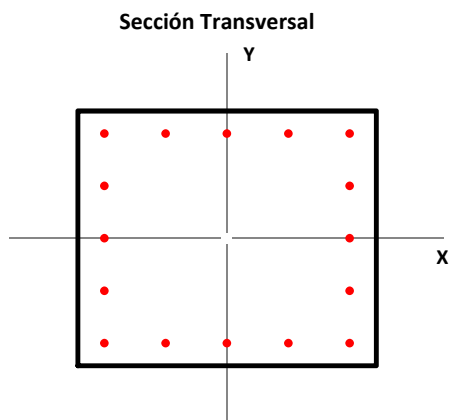
COLUMNA 55x55 Pisos 5-6-7 (PORTICO 12 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	55.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	55.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	3025 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	5	Número de Disp. X
N_y	5	Número de Disp. Y
N	16	Número de Varillas
Φ_x	18 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	18 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	18 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	40.72 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.35%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.30 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.30 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	9.50 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	9.50 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	108 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.00 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.00 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 57.34 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

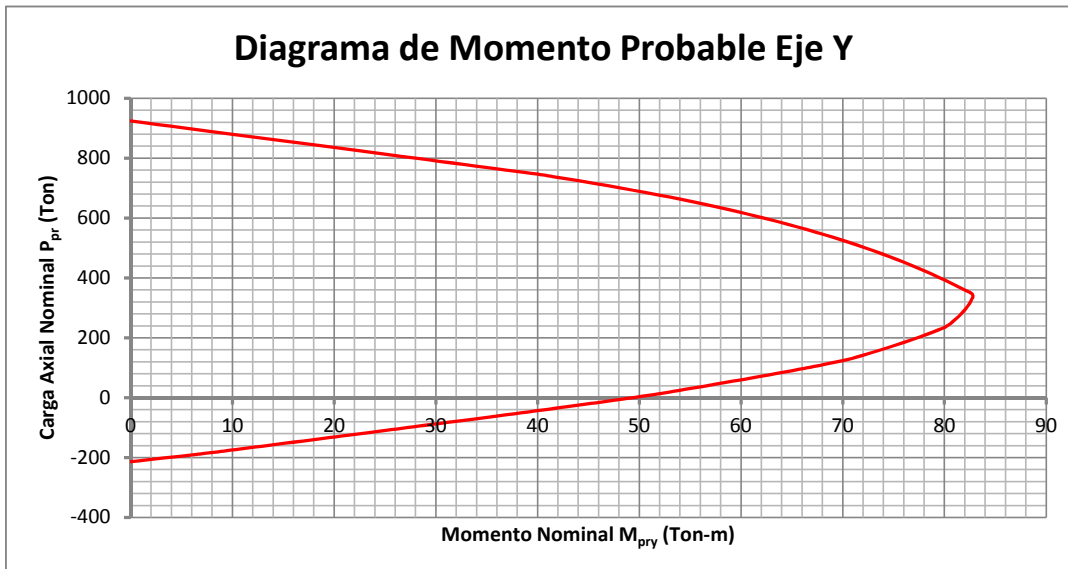
V_{ux} 21.19 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

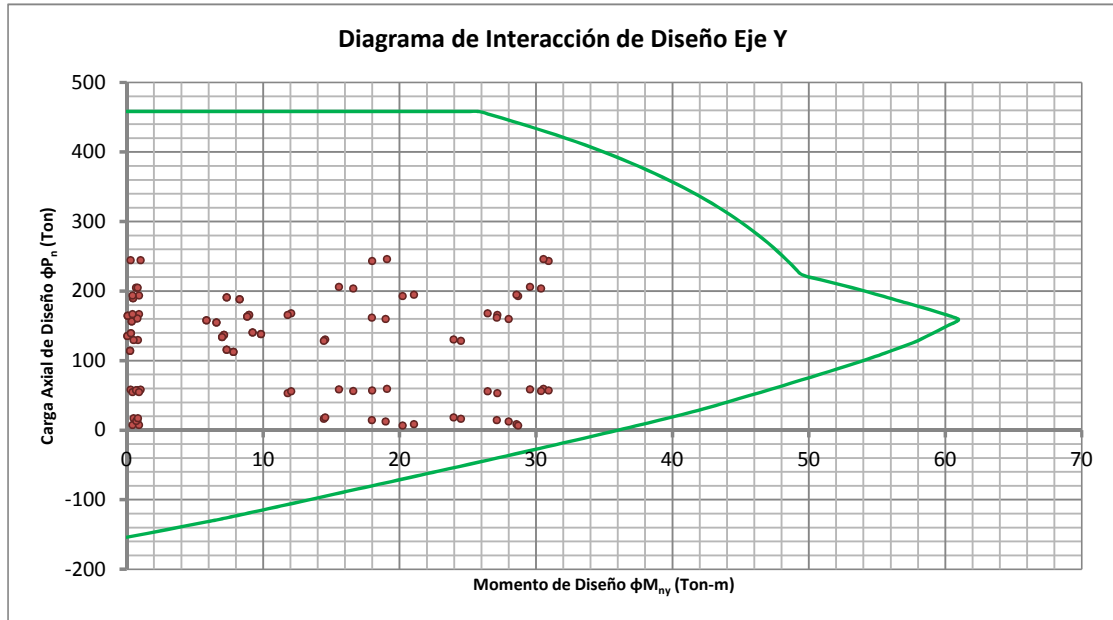
$M_{prmax,y}$ 80.51 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 44.73 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
157.72	5.85	458.26	60.91	0.34	OK
156.24	0.37	458.26	60.76	0.34	OK
154.77	6.58	458.26	60.62	0.34	OK
190.69	7.33	458.26	55.77	0.42	OK
189.42	0.47	458.26	55.99	0.41	OK
188.16	8.27	458.26	56.21	0.41	OK
59.39	30.55		47.31	0.65	OK
58.13	0.30		47.09	0.01	OK
56.86	17.99		46.88	0.38	OK
245.67	19.08	417.99	48.33	0.59	OK
244.41	1.02	458.26	48.40	0.53	OK
243.14	30.92	332.78	48.47	0.73	OK
8.25	28.57		37.76	0.76	OK
7.30	0.42		37.56	0.01	OK
6.35	20.22		37.37	0.54	OK
194.53	21.05	363.38	55.09	0.54	OK
193.58	0.90	458.26	55.26	0.42	OK
192.63	28.69	301.30	55.43	0.64	OK

136.65	7.13	458.26	58.80	0.30	OK
135.18	0.06	458.26	58.65	0.29	OK
133.71	7.00	458.26	58.49	0.29	OK
165.68	8.98	458.26	60.12	0.36	OK
164.41	0.08	458.26	60.31	0.36	OK
163.15	8.83	458.26	60.51	0.36	OK
58.59	29.56		47.18	0.63	OK
57.33	0.80		46.96	0.02	OK
56.07	16.61		46.74	0.36	OK
206.01	15.55	421.96	52.95	0.49	OK
204.75	0.68	458.26	53.20	0.45	OK
203.48	30.38	300.80	53.44	0.68	OK
14.14	27.14		39.00	0.70	OK
13.19	0.78		38.80	0.02	OK
12.24	18.99		38.60	0.49	OK
161.56	17.98	358.26	60.68	0.45	OK
160.61	0.70	458.26	60.76	0.35	OK
159.66	28.00	268.37	60.84	0.59	OK
115.31	7.33	444.40	56.21	0.26	OK
113.83	0.24	458.26	56.00	0.25	OK
112.36	7.82	433.02	55.79	0.26	OK
140.30	9.23	440.16	59.17	0.32	OK
139.04	0.30	458.26	59.04	0.30	OK
137.77	9.84	429.57	58.91	0.32	OK
55.71	26.46		46.68	0.57	OK
54.44	0.42		46.46	0.01	OK
53.18	11.80		46.24	0.26	OK
167.88	12.05	428.85	59.76	0.39	OK
166.61	0.90	458.26	59.97	0.36	OK
165.35	27.16	281.46	60.17	0.59	OK
18.04	23.97		39.81	0.60	OK
17.09	0.50		39.61	0.01	OK
16.15	14.46		39.42	0.37	OK
130.21	14.55	357.55	58.13	0.36	OK
129.26	0.82	458.26	58.03	0.28	OK
128.32	24.51	251.46	57.93	0.51	OK
157.72	5.85	458.26	60.91	0.34	OK
156.24	0.37	458.26	60.76	0.34	OK
154.77	6.58	458.26	60.62	0.34	OK
190.69	7.33	458.26	55.77	0.42	OK
189.42	0.47	458.26	55.99	0.41	OK
188.16	8.27	458.26	56.21	0.41	OK
59.39	19.08		47.31	0.40	OK
58.13	1.02		47.09	0.02	OK
56.86	30.92		46.88	0.66	OK
245.67	30.55	337.15	48.33	0.73	OK

244.41	0.30	458.26	48.40	0.53	OK
243.14	17.99	424.75	48.47	0.57	OK
8.25	21.05		37.76	0.56	OK
7.30	0.90		37.56	0.02	OK
6.35	28.69		37.37	0.77	OK
194.53	28.57	304.08	55.09	0.64	OK
193.58	0.42	458.26	55.26	0.42	OK
192.63	20.22	368.88	55.43	0.52	OK
136.65	7.13	458.26	58.80	0.30	OK
135.18	0.06	458.26	58.65	0.29	OK
133.71	7.00	458.26	58.49	0.29	OK
165.68	8.98	458.26	60.12	0.36	OK
164.41	0.08	458.26	60.31	0.36	OK
163.15	8.83	458.26	60.51	0.36	OK
58.59	15.55		47.18	0.33	OK
57.33	0.68		46.96	0.01	OK
56.07	30.38		46.74	0.65	OK
206.01	29.56	308.76	52.95	0.67	OK
204.75	0.80	458.26	53.20	0.45	OK
203.48	16.61	410.67	53.44	0.50	OK
14.14	17.98		39.00	0.46	OK
13.19	0.70		38.80	0.02	OK
12.24	28.00		38.60	0.73	OK
161.56	27.14	276.97	60.68	0.58	OK
160.61	0.78	458.26	60.76	0.35	OK
159.66	18.99	345.73	60.84	0.46	OK
115.31	7.33	444.40	56.21	0.26	OK
113.83	0.24	458.26	56.00	0.25	OK
112.36	7.82	433.02	55.79	0.26	OK
140.30	9.23	440.16	59.17	0.32	OK
139.04	0.30	458.26	59.04	0.30	OK
137.77	9.84	429.57	58.91	0.32	OK
55.71	12.05		46.68	0.26	OK
54.44	0.90		46.46	0.02	OK
53.18	27.16		46.24	0.59	OK
167.88	26.46	289.83	59.76	0.58	OK
166.61	0.42	458.26	59.97	0.36	OK
165.35	11.80	429.67	60.17	0.38	OK
18.04	14.55		39.81	0.37	OK
17.09	0.82		39.61	0.02	OK
16.15	24.51		39.42	0.62	OK
130.21	23.97	258.72	58.13	0.50	OK
129.26	0.50	458.26	58.03	0.28	OK
128.32	14.46	355.98	57.93	0.36	OK

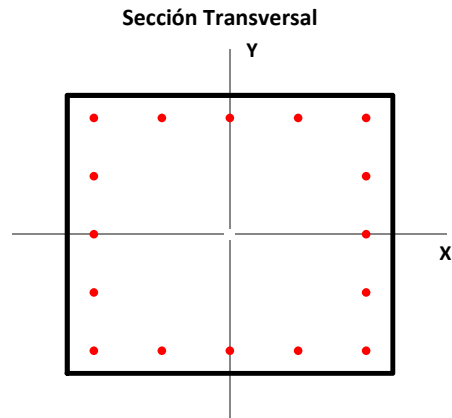
COLUMNA 60x60 Pisos 8-9-10 (PORTICO 12 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	60.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	60.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	3600 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	5	Número de Disp. X
N_y	5	Número de Disp. Y
N	16	Número de Varillas
Φ_x	18 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	18 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	18 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	40.72 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.13%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	12.55 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	12.55 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	10.75 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	10.75 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	108 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.18 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.18 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 62.90 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

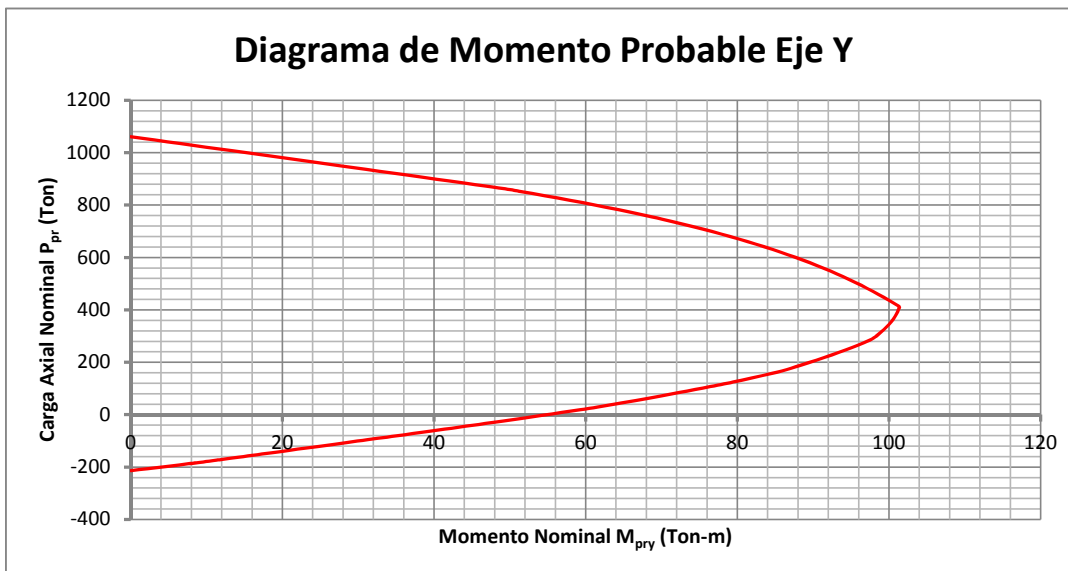
V_{ux} 30.50 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

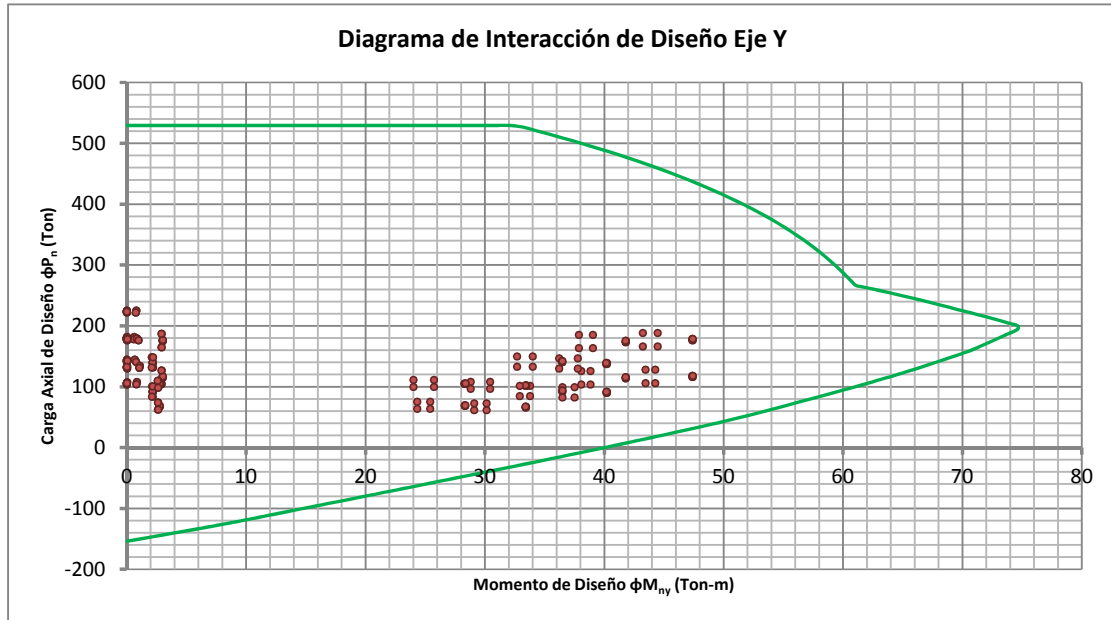
$M_{prmax,y}$ 92.15 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 51.19 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
181.37	0.63	529.42	73.20	0.34	OK
179.60	0.02	529.42	73.00	0.34	OK
177.84	0.60	529.42	72.80	0.34	OK
224.66	0.82	529.42	70.04	0.42	OK
223.15	0.03	529.42	70.34	0.42	OK
221.63	0.77	529.42	70.65	0.42	OK
166.03	43.24	249.55	71.44	0.67	OK
164.52	2.91	529.42	71.26	0.31	OK
163.00	39.07	260.62	71.08	0.63	OK
188.14	44.50	262.39	73.95	0.72	OK
186.63	2.95	529.42	73.79	0.35	OK
185.11	37.88	292.04	73.62	0.63	OK
105.54	43.46	176.42	62.03	0.70	OK
104.40	2.92	529.42	61.83	0.20	OK
103.27	38.86	198.31	61.62	0.63	OK
127.65	44.27	210.12	65.81	0.67	OK
126.52	2.94	529.42	65.63	0.24	OK
125.38	38.09	228.21	65.44	0.58	OK

181.44	0.02	529.42	73.21	0.34	OK
179.67	0.00	529.42	73.01	0.34	OK
177.90	0.01	529.42	72.81	0.34	OK
224.69	0.03	529.42	70.03	0.42	OK
223.17	0.01	529.42	70.34	0.42	OK
221.66	0.02	529.42	70.65	0.42	OK
176.09	47.42	244.96	72.60	0.72	OK
174.57	3.02	529.42	72.43	0.33	OK
173.05	41.80	259.62	72.25	0.67	OK
178.18	47.38	246.70	72.84	0.72	OK
176.67	3.01	529.42	72.67	0.33	OK
175.15	41.82	261.12	72.49	0.67	OK
115.59	47.42	177.35	63.81	0.74	OK
114.45	3.02	529.42	63.61	0.22	OK
113.32	41.80	201.64	63.42	0.66	OK
117.69	47.39	182.04	64.17	0.74	OK
116.55	3.01	529.42	63.97	0.22	OK
115.41	41.82	204.10	63.78	0.66	OK
181.44	0.02	529.42	73.21	0.34	OK
179.67	0.00	529.42	73.01	0.34	OK
177.90	0.01	529.42	72.81	0.34	OK
224.69	0.03	529.42	70.03	0.42	OK
223.17	0.01	529.42	70.34	0.42	OK
221.66	0.02	529.42	70.65	0.42	OK
176.09	47.38	245.08	72.60	0.72	OK
174.57	3.01	529.42	72.43	0.33	OK
173.05	41.82	259.54	72.25	0.67	OK
178.18	47.42	246.58	72.84	0.72	OK
176.67	3.02	529.42	72.67	0.33	OK
175.15	41.80	261.20	72.49	0.67	OK
115.59	47.39	177.50	63.81	0.74	OK
114.45	3.01	529.42	63.61	0.22	OK
113.32	41.82	201.59	63.42	0.66	OK
117.69	47.42	181.90	64.17	0.74	OK
116.55	3.02	529.42	63.97	0.22	OK
115.41	41.80	204.15	63.78	0.66	OK
181.37	0.63	529.42	73.20	0.34	OK
179.60	0.02	529.42	73.00	0.34	OK
177.84	0.60	529.42	72.80	0.34	OK
224.66	0.82	529.42	70.04	0.42	OK
223.15	0.03	529.42	70.34	0.42	OK
221.63	0.77	529.42	70.65	0.42	OK
166.03	44.50	245.63	71.44	0.68	OK
164.52	2.95	529.42	71.26	0.31	OK
163.00	37.88	264.65	71.08	0.62	OK
188.14	43.24	266.10	73.95	0.71	OK

186.63	2.91	529.42	73.79	0.35	OK
185.11	39.07	284.93	73.62	0.65	OK
105.54	44.27	172.04	62.03	0.71	OK
104.40	2.94	529.42	61.83	0.20	OK
103.27	38.09	201.67	61.62	0.62	OK
127.65	43.46	212.66	65.81	0.66	OK
126.52	2.92	529.42	65.63	0.24	OK
125.38	38.86	225.45	65.44	0.59	OK
144.31	0.67	529.42	68.43	0.27	OK
142.52	0.06	529.42	68.15	0.27	OK
140.74	0.79	529.42	67.88	0.27	OK
179.12	0.85	529.42	72.95	0.34	OK
177.59	0.08	529.42	72.77	0.34	OK
176.07	1.00	529.42	72.60	0.33	OK
132.58	32.70	256.85	66.60	0.52	OK
131.05	2.22	529.42	66.36	0.25	OK
129.52	37.79	233.89	66.11	0.57	OK
149.44	34.02	268.00	69.20	0.56	OK
147.92	2.10	529.42	68.97	0.28	OK
146.39	36.23	256.39	68.74	0.57	OK
84.34	32.93		58.13	0.57	OK
83.19	2.20		57.92	0.04	OK
82.04	37.52		57.70	0.65	OK
101.20	33.79	215.32	61.25	0.55	OK
100.05	2.12		61.04	0.03	OK
98.91	36.50		60.83	0.60	OK
107.45	0.86	529.42	62.37	0.20	OK
105.67	0.02	529.42	62.05	0.20	OK
103.88	0.82	529.42	61.74	0.20	OK
133.88	1.10	529.42	66.81	0.25	OK
132.35	0.02	529.42	66.56	0.25	OK
130.82	1.05	529.42	66.32	0.25	OK
99.45	24.04		60.93	0.39	OK
97.92	2.61		60.65	0.04	OK
96.39	30.45		60.37	0.50	OK
110.86	25.74	264.79	62.99	0.42	OK
109.33	2.64	529.42	62.71	0.21	OK
107.80	28.82	245.94	62.44	0.46	OK
63.37	24.34		54.14	0.45	OK
62.23	2.61		53.91	0.05	OK
61.08	30.16		53.69	0.56	OK
74.78	25.44		56.32	0.45	OK
73.63	2.64		56.11	0.05	OK
72.48	29.11		55.89	0.52	OK
144.19	0.02	529.42	68.41	0.27	OK
142.40	0.01	529.42	68.13	0.27	OK
140.62	0.03	529.42	67.86	0.27	OK

178.93	0.02	529.42	72.92	0.34	OK
177.40	0.01	529.42	72.75	0.34	OK
175.87	0.04	529.42	72.58	0.33	OK
140.07	36.50	249.45	67.77	0.56	OK
138.54	2.18	529.42	67.54	0.26	OK
137.01	40.18	233.17	67.30	0.60	OK
141.70	36.47	251.14	68.03	0.56	OK
140.17	2.19	529.42	67.79	0.26	OK
138.64	40.24	234.60	67.55	0.60	OK
91.88	36.50		59.54	0.61	OK
90.73	2.18		59.32	0.04	OK
89.58	40.19		59.11	0.68	OK
93.51	36.47		59.84	0.61	OK
92.36	2.19		59.63	0.04	OK
91.21	40.23		59.41	0.68	OK
106.88	0.04	529.42	62.27	0.20	OK
105.09	0.00	529.42	61.95	0.20	OK
103.31	0.03	529.42	61.63	0.20	OK
133.09	0.05	529.42	66.68	0.25	OK
131.57	0.00	529.42	66.44	0.25	OK
130.04	0.04	529.42	66.20	0.25	OK
104.01	28.38	243.14	61.76	0.46	OK
102.48	2.77	529.42	61.48	0.19	OK
100.95	33.41	216.54	61.20	0.55	OK
105.14	28.31	245.01	61.96	0.46	OK
103.61	2.76	529.42	61.69	0.20	OK
102.08	33.47	217.81	61.41	0.55	OK
68.14	28.37		55.05	0.52	OK
66.99	2.77		54.83	0.05	OK
65.85	33.42		54.61	0.61	OK
69.27	28.32		55.27	0.51	OK
68.13	2.77		55.05	0.05	OK
66.98	33.46		54.83	0.61	OK
144.19	0.02	529.42	68.41	0.27	OK
142.40	0.01	529.42	68.13	0.27	OK
140.62	0.03	529.42	67.86	0.27	OK
178.93	0.02	529.42	72.92	0.34	OK
177.40	0.01	529.42	72.75	0.34	OK
175.87	0.04	529.42	72.58	0.33	OK
140.07	36.47	249.57	67.77	0.56	OK
138.54	2.19	529.42	67.54	0.26	OK
137.01	40.24	232.94	67.30	0.60	OK
141.70	36.50	251.02	68.03	0.56	OK
140.17	2.18	529.42	67.79	0.26	OK
138.64	40.18	234.82	67.55	0.59	OK
91.88	36.47		59.54	0.61	OK
90.73	2.19		59.32	0.04	OK

89.58	40.23		59.11	0.68	OK
93.51	36.50		59.84	0.61	OK
92.36	2.18		59.63	0.04	OK
91.21	40.19		59.41	0.68	OK
106.88	0.04	529.42	62.27	0.20	OK
105.09	0.00	529.42	61.95	0.20	OK
103.31	0.03	529.42	61.63	0.20	OK
133.09	0.05	529.42	66.68	0.25	OK
131.57	0.00	529.42	66.44	0.25	OK
130.04	0.04	529.42	66.20	0.25	OK
104.01	28.31	243.52	61.76	0.46	OK
102.48	2.76	529.42	61.48	0.19	OK
100.95	33.47	216.29	61.20	0.55	OK
105.14	28.38	244.64	61.96	0.46	OK
103.61	2.77	529.42	61.69	0.20	OK
102.08	33.41	218.07	61.41	0.54	OK
68.14	28.32		55.05	0.51	OK
66.99	2.77		54.83	0.05	OK
65.85	33.46		54.61	0.61	OK
69.27	28.37		55.27	0.51	OK
68.13	2.77		55.05	0.05	OK
66.98	33.42		54.83	0.61	OK
144.31	0.67	529.42	68.43	0.27	OK
142.52	0.06	529.42	68.15	0.27	OK
140.74	0.79	529.42	67.88	0.27	OK
179.12	0.85	529.42	72.95	0.34	OK
177.59	0.08	529.42	72.77	0.34	OK
176.07	1.00	529.42	72.60	0.33	OK
132.58	34.02	251.55	66.60	0.53	OK
131.05	2.10	529.42	66.36	0.25	OK
129.52	36.23	239.73	66.11	0.55	OK
149.44	32.70	276.72	69.20	0.54	OK
147.92	2.22	529.42	68.97	0.28	OK
146.39	37.79	250.74	68.74	0.58	OK
84.34	33.79		58.13	0.58	OK
83.19	2.12		57.92	0.04	OK
82.04	36.50		57.70	0.63	OK
101.20	32.93	218.84	61.25	0.54	OK
100.05	2.20		61.04	0.04	OK
98.91	37.52		60.83	0.62	OK
107.45	0.86	529.42	62.37	0.20	OK
105.67	0.02	529.42	62.05	0.20	OK
103.88	0.82	529.42	61.74	0.20	OK
133.88	1.10	529.42	66.81	0.25	OK
132.35	0.02	529.42	66.56	0.25	OK
130.82	1.05	529.42	66.32	0.25	OK
99.45	25.74		60.93	0.42	OK

97.92	2.64		60.65	0.04	OK
96.39	28.82		60.37	0.48	OK
110.86	24.04	278.77	62.99	0.40	OK
109.33	2.61	529.42	62.71	0.21	OK
107.80	30.45	238.38	62.44	0.49	OK
63.37	25.44		54.14	0.47	OK
62.23	2.64		53.91	0.05	OK
61.08	29.11		53.69	0.54	OK
74.78	24.34		56.32	0.43	OK
73.63	2.61		56.11	0.05	OK
72.48	30.16		55.89	0.54	OK

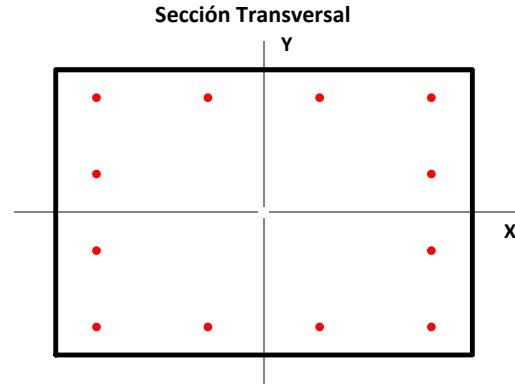
COLUMNA 50x50 Pisos 8-9-10 (PORTICO 12 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	50.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	50.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	2500 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	4	Número de Disp. X
N_y	4	Número de Disp. Y
N	12	Número de Varillas
Φ_x	18 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	18 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	18 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	30.54 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.22%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	13.40 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	13.40 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	11.60 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	11.60 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Mínimos de Confinamiento

s_{max}	108 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.03 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.03 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 51.77 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

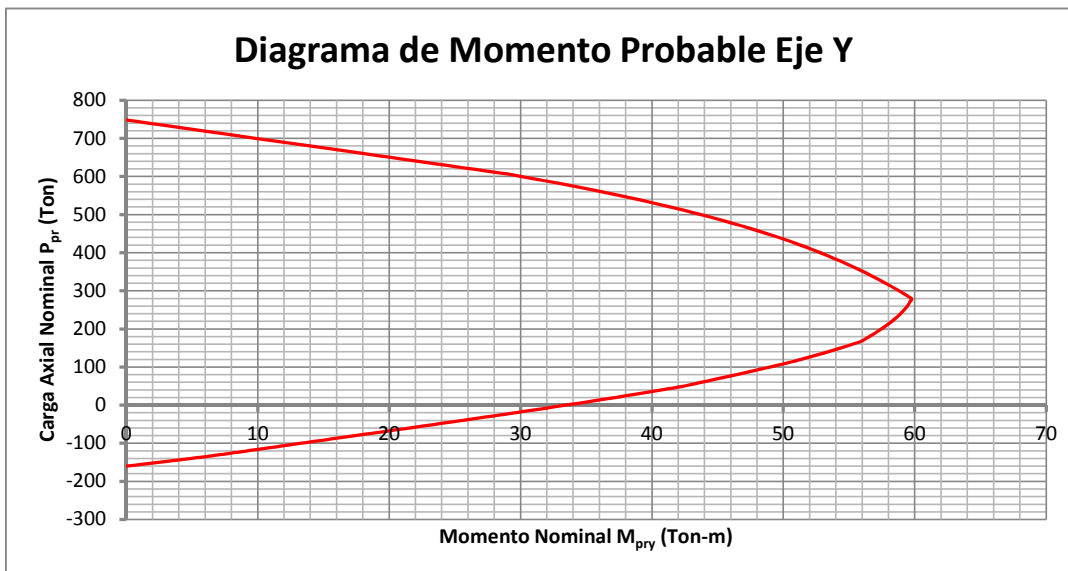
V_{ux} 17.47 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

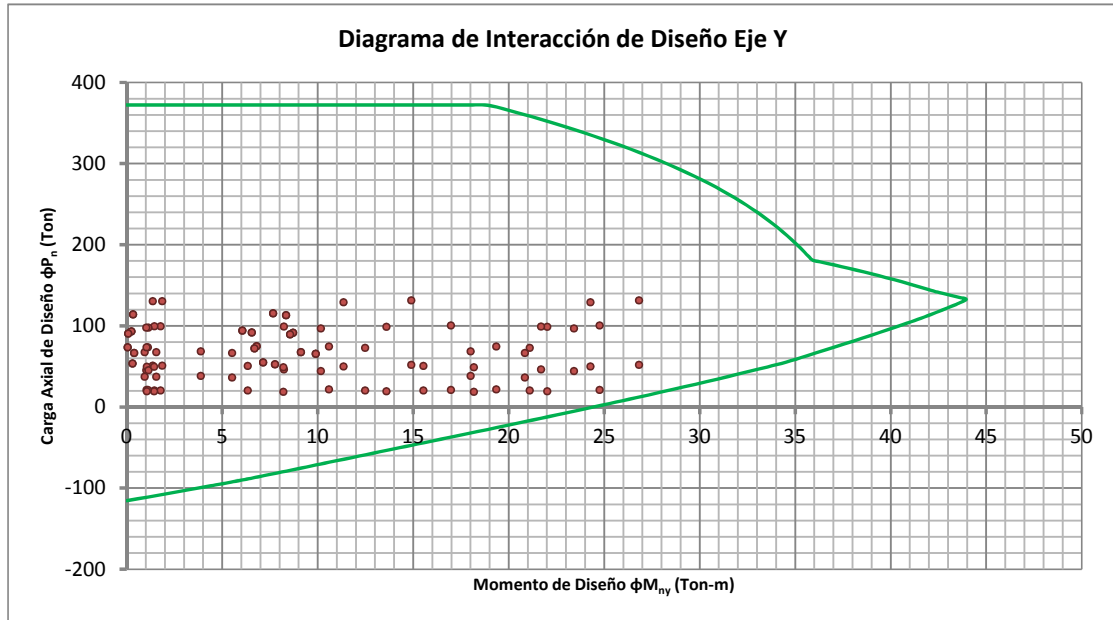
$M_{prmax,y}$ 52.52 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 29.18 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
94.15	6.06	349.08	39.71	0.27	OK
92.92	0.25	372.31	39.55	0.25	OK
91.69	6.55	336.97	39.40	0.27	OK
115.13	7.67	345.20	42.22	0.33	OK
114.08	0.34	372.31	42.10	0.31	OK
113.02	8.34	332.96	41.99	0.34	OK
51.77	26.83		33.94	0.79	OK
50.72	1.36		33.77	0.04	OK
49.67	11.35		33.59	0.34	OK
131.15	14.90	271.29	43.82	0.48	OK
130.09	1.86	372.31	43.74	0.35	OK
129.04	24.28	189.02	43.66	0.68	OK
20.84	24.76		28.44	0.87	OK
20.05	1.45		28.30	0.05	OK
19.26	13.60		28.15	0.48	OK
100.21	16.97	205.71	40.47	0.49	OK
99.42	1.77	372.31	40.38	0.27	OK
98.63	22.03	170.04	40.28	0.58	OK

94.15	6.06	349.08	39.71	0.27	OK
92.92	0.25	372.31	39.55	0.25	OK
91.69	6.55	336.97	39.40	0.27	OK
115.13	7.67	345.20	42.22	0.33	OK
114.08	0.34	372.31	42.10	0.31	OK
113.02	8.34	332.96	41.99	0.34	OK
51.77	14.90		33.94	0.44	OK
50.72	1.86		33.77	0.06	OK
49.67	24.28		33.59	0.72	OK
131.15	26.83	178.19	43.82	0.74	OK
130.09	1.36	372.31	43.74	0.35	OK
129.04	11.35	309.90	43.66	0.42	OK
20.84	16.97		28.44	0.60	OK
20.05	1.77		28.30	0.06	OK
19.26	22.03		28.15	0.78	OK
100.21	24.76	160.38	40.47	0.62	OK
99.42	1.45	372.31	40.38	0.27	OK
98.63	13.60	239.54	40.28	0.41	OK
74.58	6.81	304.63	37.15	0.24	OK
73.34	0.06	372.31	36.99	0.20	OK
72.10	6.70	302.14	36.82	0.24	OK
91.40	8.71	298.39	39.36	0.31	OK
90.34	0.07	372.31	39.22	0.24	OK
89.27	8.56	297.46	39.09	0.30	OK
46.19	8.24		33.00	0.25	OK
45.12	1.03		32.82	0.03	OK
44.06	23.41		32.63	0.72	OK
98.84	21.70	171.64	40.30	0.58	OK
97.78	1.14	372.31	40.17	0.26	OK
96.71	10.17	283.44	40.04	0.34	OK
21.62	10.59		28.59	0.37	OK
20.82	1.05		28.44	0.04	OK
20.03	21.10		28.29	0.75	OK
74.27	19.34	155.25	37.11	0.52	OK
73.48	1.12	372.31	37.01	0.20	OK
72.68	12.49	203.39	36.90	0.36	OK
54.78	7.15		34.44	0.21	OK
53.54	0.31		34.24	0.01	OK
52.30	7.76		34.03	0.23	OK
67.37	9.13		36.18	0.25	OK
66.31	0.39		36.04	0.01	OK
65.25	9.90		35.89	0.28	OK
38.19	3.88		31.61	0.12	OK
37.13	1.55		31.42	0.05	OK
36.07	20.85		31.23	0.67	OK
68.47	18.01		36.33	0.50	OK

67.41	0.94		36.19	0.03	OK
66.35	5.52		36.04	0.15	OK
20.08	6.34		28.30	0.22	OK
19.28	1.44		28.15	0.05	OK
18.48	18.18		28.00	0.65	OK
50.35	15.54		33.71	0.46	OK
49.56	1.05		33.58	0.03	OK
48.76	8.20		33.44	0.25	OK
74.58	6.81	304.63	37.15	0.24	OK
73.34	0.06	372.31	36.99	0.20	OK
72.10	6.70	302.14	36.82	0.24	OK
91.40	8.71	298.39	39.36	0.31	OK
90.34	0.07	372.31	39.22	0.24	OK
89.27	8.56	297.46	39.09	0.30	OK
46.19	21.70		33.00	0.66	OK
45.12	1.14		32.82	0.03	OK
44.06	10.17		32.63	0.31	OK
98.84	8.24	317.30	40.30	0.31	OK
97.78	1.03	372.31	40.17	0.26	OK
96.71	23.41	162.33	40.04	0.60	OK
21.62	19.34		28.59	0.68	OK
20.82	1.12		28.44	0.04	OK
20.03	12.49		28.29	0.44	OK
74.27	10.59	233.99	37.11	0.32	OK
73.48	1.05	372.31	37.01	0.20	OK
72.68	21.10	144.69	36.90	0.57	OK
54.78	7.15		34.44	0.21	OK
53.54	0.31		34.24	0.01	OK
52.30	7.76		34.03	0.23	OK
67.37	9.13		36.18	0.25	OK
66.31	0.39		36.04	0.01	OK
65.25	9.90		35.89	0.28	OK
38.19	18.01		31.61	0.57	OK
37.13	0.94		31.42	0.03	OK
36.07	5.52		31.23	0.18	OK
68.47	3.88		36.33	0.11	OK
67.41	1.55		36.19	0.04	OK
66.35	20.85		36.04	0.58	OK
20.08	15.54		28.30	0.55	OK
19.28	1.05		28.15	0.04	OK
18.48	8.20		28.00	0.29	OK
50.35	6.34		33.71	0.19	OK
49.56	1.44		33.58	0.04	OK
48.76	18.18		33.44	0.54	OK

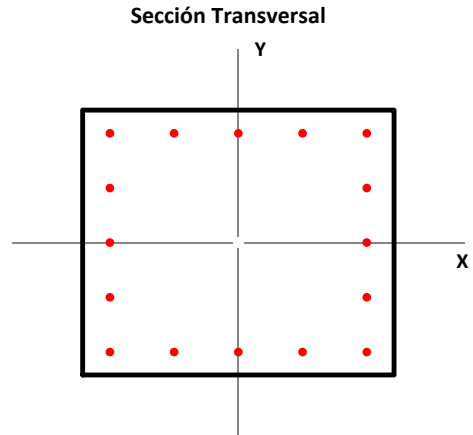
COLUMNA 55x55 Pisos 11-12 (PORTICO 12 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	55.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	55.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	3025 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	4.5	Número de Ramas X
N_{Ry}	4.5	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	3.53 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	5	Número de Disp. X
N_y	5	Número de Disp. Y
N	16	Número de Varillas
Φ_x	16 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	16 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	16 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	32.17 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.06%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.35 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.35 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	9.75 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	9.75 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	100 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.00 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.00 cm ²	ESTADO	OK	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 57.34 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

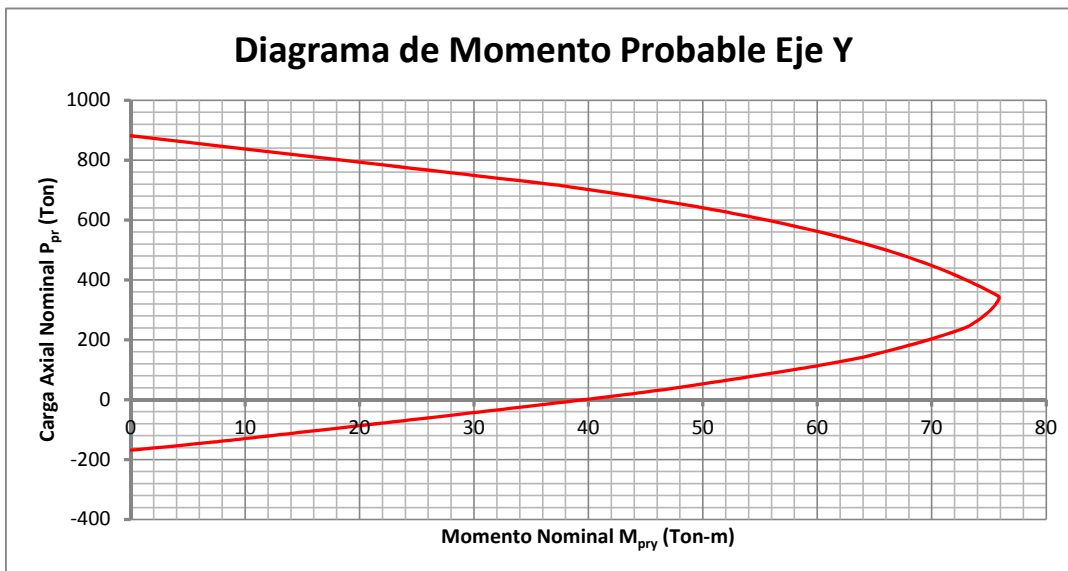
V_{ux} 14.49 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

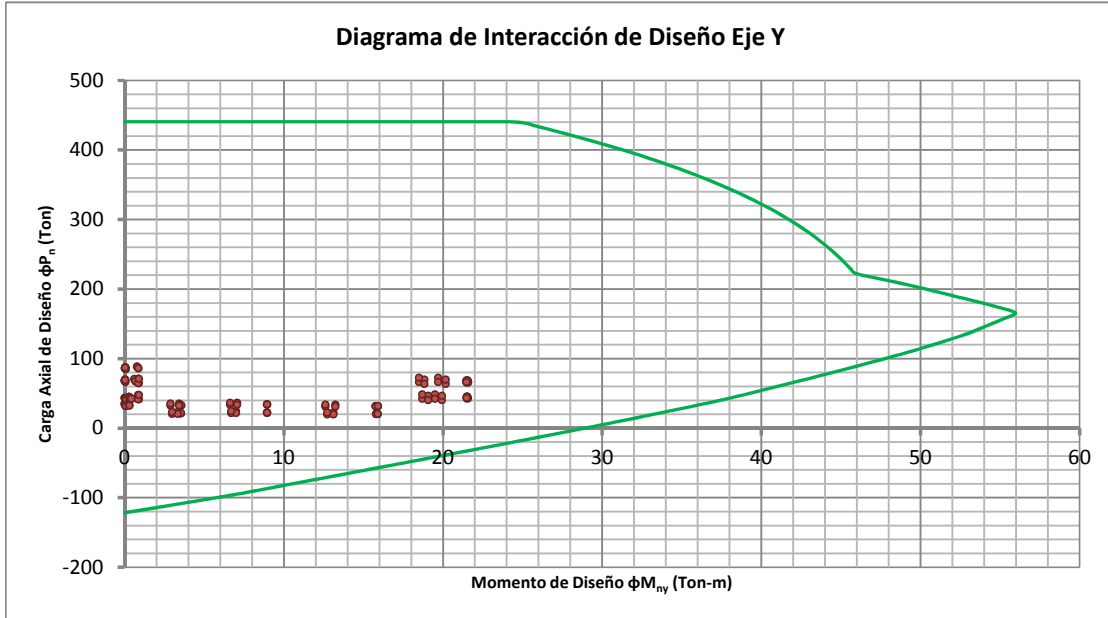
$M_{prmax,y}$ 56.05 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 31.14 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
70.45	0.61		42.83	0.01	OK
68.94	0.03		42.57	0.00	OK
67.43	0.68		42.31	0.02	OK
88.42	0.78	440.65	45.87	0.20	OK
87.13	0.04	440.65	45.65	0.20	OK
85.83	0.86	440.65	45.44	0.19	OK
66.08	18.50		42.07	0.44	OK
64.79	0.91		41.85	0.02	OK
63.49	20.18		41.62	0.48	OK
72.21	19.71		43.13	0.46	OK
70.91	0.84		42.91	0.02	OK
69.62	18.84		42.69	0.44	OK
42.22	18.71		37.81	0.49	OK
41.25	0.90		37.62	0.02	OK
40.28	19.94		37.43	0.53	OK
48.35	19.49		38.95	0.50	OK
47.38	0.86		38.77	0.02	OK
46.41	19.07		38.60	0.49	OK

35.64	0.24		36.51	0.01	OK
34.11	0.27		36.20	0.01	OK
32.59	0.31		35.89	0.01	OK
44.80	0.28		38.30	0.01	OK
43.50	0.36		38.05	0.01	OK
42.19	0.43		37.80	0.01	OK
33.67	6.62		36.11	0.18	OK
32.36	2.89		35.84	0.08	OK
31.06	12.61		35.57	0.35	OK
36.33	7.08		36.66	0.19	OK
35.03	3.43		36.39	0.09	OK
33.72	13.25		36.12	0.37	OK
21.58	6.70		33.59	0.20	OK
20.60	2.98		33.38	0.09	OK
19.62	12.73		33.17	0.38	OK
24.24	7.00		34.15	0.21	OK
23.26	3.34		33.95	0.10	OK
22.28	13.13		33.74	0.39	OK
69.64	0.03		42.69	0.00	OK
68.12	0.01		42.43	0.00	OK
66.61	0.05		42.17	0.00	OK
87.32	0.05	440.65	45.69	0.20	OK
86.03	0.01	440.65	45.47	0.20	OK
84.73	0.07	440.65	45.25	0.19	OK
67.95	21.55		42.40	0.51	OK
66.66	0.80		42.17	0.02	OK
65.36	21.48		41.95	0.51	OK
68.69	21.48		42.53	0.51	OK
67.40	0.82		42.30	0.02	OK
66.10	21.59		42.08	0.51	OK
44.40	21.54		38.22	0.56	OK
43.42	0.81		38.04	0.02	OK
42.45	21.50		37.85	0.57	OK
45.14	21.49		38.37	0.56	OK
44.16	0.82		38.18	0.02	OK
43.19	21.57		37.99	0.57	OK
34.63	0.00		36.31	0.00	OK
33.10	0.04		35.99	0.00	OK
31.58	0.08		35.68	0.00	OK
43.48	0.00		38.05	0.00	OK
42.17	0.05		37.80	0.00	OK
40.86	0.10		37.54	0.00	OK
33.85	8.95		36.15	0.25	OK
32.54	3.56		35.88	0.10	OK
31.24	15.93		35.61	0.45	OK
34.13	8.95		36.20	0.25	OK

32.82	3.49		35.94	0.10	OK
31.52	15.77		35.67	0.44	OK
22.12	8.95		33.70	0.27	OK
21.14	3.55		33.49	0.11	OK
20.16	15.90		33.29	0.48	OK
22.40	8.95		33.76	0.27	OK
21.42	3.50		33.55	0.10	OK
20.44	15.80		33.35	0.47	OK
69.64	0.03		42.69	0.00	OK
68.12	0.01		42.43	0.00	OK
66.61	0.05		42.17	0.00	OK
87.32	0.05	440.65	45.69	0.20	OK
86.03	0.01	440.65	45.47	0.20	OK
84.73	0.07	440.65	45.25	0.19	OK
67.95	21.48		42.40	0.51	OK
66.66	0.82		42.17	0.02	OK
65.36	21.59		41.95	0.51	OK
68.69	21.55		42.53	0.51	OK
67.40	0.80		42.30	0.02	OK
66.10	21.48		42.08	0.51	OK
44.40	21.49		38.22	0.56	OK
43.42	0.82		38.04	0.02	OK
42.45	21.57		37.85	0.57	OK
45.14	21.54		38.37	0.56	OK
44.16	0.81		38.18	0.02	OK
43.19	21.50		37.99	0.57	OK
34.63	0.00		36.31	0.00	OK
33.10	0.04		35.99	0.00	OK
31.58	0.08		35.68	0.00	OK
43.48	0.00		38.05	0.00	OK
42.17	0.05		37.80	0.00	OK
40.86	0.10		37.54	0.00	OK
33.85	8.95		36.15	0.25	OK
32.54	3.49		35.88	0.10	OK
31.24	15.77		35.61	0.44	OK
34.13	8.95		36.20	0.25	OK
32.82	3.56		35.94	0.10	OK
31.52	15.93		35.67	0.45	OK
22.12	8.95		33.70	0.27	OK
21.14	3.50		33.49	0.10	OK
20.16	15.80		33.29	0.47	OK
22.40	8.95		33.76	0.27	OK
21.42	3.55		33.55	0.11	OK
20.44	15.90		33.35	0.48	OK
70.45	0.61		42.83	0.01	OK
68.94	0.03		42.57	0.00	OK
67.43	0.68		42.31	0.02	OK

88.42	0.78	440.65	45.87	0.20	OK
87.13	0.04	440.65	45.65	0.20	OK
85.83	0.86	440.65	45.44	0.19	OK
66.08	19.71		42.07	0.47	OK
64.79	0.84		41.85	0.02	OK
63.49	18.84		41.62	0.45	OK
72.21	18.50		43.13	0.43	OK
70.91	0.91		42.91	0.02	OK
69.62	20.18		42.69	0.47	OK
42.22	19.49		37.81	0.52	OK
41.25	0.86		37.62	0.02	OK
40.28	19.07		37.43	0.51	OK
48.35	18.71		38.95	0.48	OK
47.38	0.90		38.77	0.02	OK
46.41	19.94		38.60	0.52	OK
35.64	0.24		36.51	0.01	OK
34.11	0.27		36.20	0.01	OK
32.59	0.31		35.89	0.01	OK
44.80	0.28		38.30	0.01	OK
43.50	0.36		38.05	0.01	OK
42.19	0.43		37.80	0.01	OK
33.67	7.08		36.11	0.20	OK
32.36	3.43		35.84	0.10	OK
31.06	13.25		35.57	0.37	OK
36.33	6.62		36.66	0.18	OK
35.03	2.89		36.39	0.08	OK
33.72	12.61		36.12	0.35	OK
21.58	7.00		33.59	0.21	OK
20.60	3.34		33.38	0.10	OK
19.62	13.13		33.17	0.40	OK
24.24	6.70		34.15	0.20	OK
23.26	2.98		33.95	0.09	OK
22.28	12.73		33.74	0.38	OK

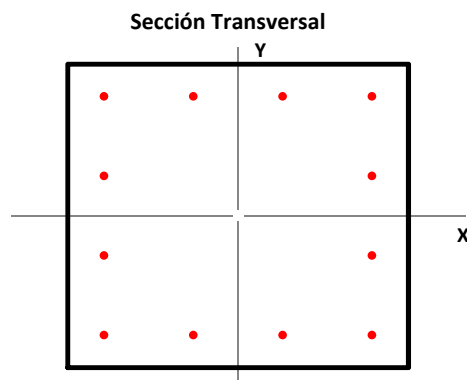
COLUMNA 45x45 Pisos 11-12 (PORTICO 12 PISOS)

1. Propiedades de la Sección Transversal

b	45.00 cm	Dimensión de la Sección en X
h	45.00 cm	Dimensión de la Sección en Y
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo
A_c	2025 cm ²	Área de la Sección Gruesa

2. Acero de Refuerzo Transversal

Φ_{est.}	10 mm	Diámetro Estribo
s	100 mm	Espaciamiento Long. C. a C.
s'	90 mm	Espaciamiento Libre Long.
N_{Rx}	3.41	Número de Ramas X
N_{Ry}	3.41	Número de Ramas Y
A_{sh,x}	2.68 cm ²	Area Refuerzo Transversal X
A_{sh,y}	2.68 cm ²	Area Refuerzo Transversal Y



3. Acero de Refuerzo Longitudinal

N_x	4	Número de Disp. X
N_y	4	Número de Disp. Y
N	12	Número de Varillas
Φ_x	16 mm	Diámetro de Varillas X
Φ_y	16 mm	Diámetro de Varillas Y
Φ_{esq.}	16 mm	Diámetro de Varillas Esq.

A_s	24.13 cm ²	Área de Refuerzo Longitudinal
ρ	1.19%	Cuantía de Refuerzo Longitudinal
s_x	11.80 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido X
s_y	11.80 cm	Espaciamiento C. a C. Sentido Y
s'_x	10.20 cm	Espaciamiento Libre Sentido X
s'_y	10.20 cm	Espaciamiento Libre Sentido Y

4. Propiedades de los Materiales

4.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresión
ε_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
β₁	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ε_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

4.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ε_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

5. Diseño por Cortante

5.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	100 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
$A_{sh,xmin}$	3.06 cm ²	ESTADO	ERROR	Area Minima Refuerzo Transversal X
$A_{sh,ymin}$	3.06 cm ²	ESTADO	ERROR	Area Minima Refuerzo Transversal Y

5.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

*Se considera que el hormigon no aporta a la Resistencia al Cortante

L_u 3.60 m Longitud de la Columna

5.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ 0.75 Factor de Reduccion

ϕV_x 35.01 Ton Resistencia a Cortante de la Seccion

5.2.2 Demanda de Cortante Analisis

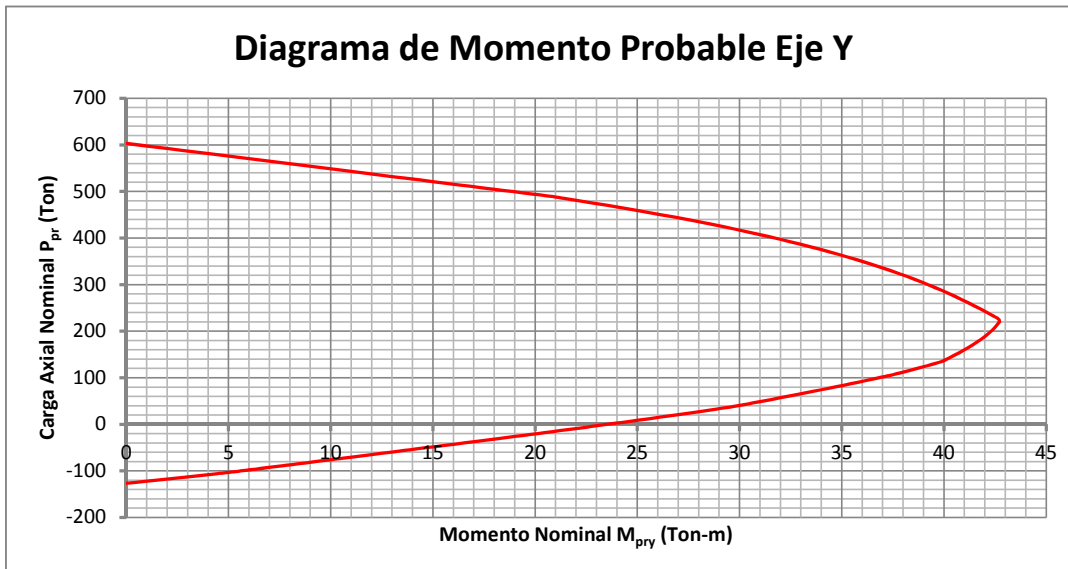
V_{ux} 9.19 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante de la Seccion

5.2.3 Demanda de Cortante Sismico

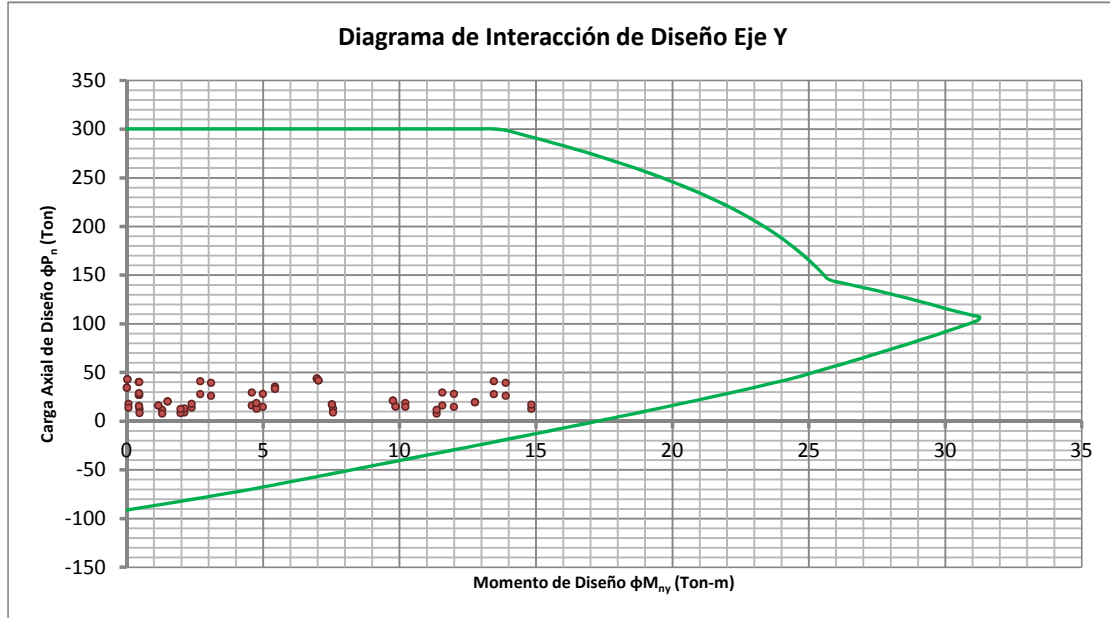
$M_{prmax,y}$ 30.40 Ton-m Momento Probable Maximo

V_{ex} 16.89 Ton ESTADO OK Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

6. Diagrama de Momentos Probables



7. Diagramas de Interacción de Diseño



8. Diseño a Flexo-Compresión Biaxial

P_u (Ton)	M_{uy} (Ton-m)	ϕP_n (Ton)	ϕM_{ny} (Ton-m)	D/C	ESTADO
35.23	5.43		23.07	0.24	OK
34.22	0.00		22.92	0.00	OK
33.20	5.44		22.76	0.24	OK
43.64	6.97		24.35	0.29	OK
42.78	0.03		24.22	0.00	OK
41.91	7.02		24.09	0.29	OK
27.77	2.70		21.90	0.12	OK
26.90	0.47		21.76	0.02	OK
26.04	13.89		21.62	0.64	OK
41.02	13.46		23.96	0.56	OK
40.16	0.44		23.83	0.02	OK
39.29	3.09		23.70	0.13	OK
16.02	4.59		19.98	0.23	OK
15.37	0.46		19.87	0.02	OK
14.72	11.99		19.76	0.61	OK
29.27	11.57		22.14	0.52	OK
28.62	0.45		22.04	0.02	OK
27.97	4.99		21.93	0.23	OK

17.02	7.52		20.14	0.37	OK
16.00	1.17		19.97	0.06	OK
14.98	9.86		19.80	0.50	OK
21.10	9.76		20.82	0.47	OK
20.22	1.50		20.67	0.07	OK
19.35	12.77		20.53	0.62	OK
14.59	4.76		19.74	0.24	OK
13.72	2.38		19.59	0.12	OK
12.84	14.83		19.45	0.76	OK
18.65	10.21		20.42	0.50	OK
17.78	0.07		20.27	0.00	OK
16.90	4.77		20.12	0.24	OK
8.91	2.11		18.78	0.11	OK
8.26	1.97		18.67	0.11	OK
7.60	11.37		18.56	0.61	OK
12.97	7.56		19.47	0.39	OK
12.31	0.48		19.36	0.02	OK
11.66	1.31		19.25	0.07	OK
35.23	5.43		23.07	0.24	OK
34.22	0.00		22.92	0.00	OK
33.20	5.44		22.76	0.24	OK
43.64	6.97		24.35	0.29	OK
42.78	0.03		24.22	0.00	OK
41.91	7.02		24.09	0.29	OK
27.77	13.46		21.90	0.61	OK
26.90	0.44		21.76	0.02	OK
26.04	3.09		21.62	0.14	OK
41.02	2.70		23.96	0.11	OK
40.16	0.47		23.83	0.02	OK
39.29	13.89		23.70	0.59	OK
16.02	11.57		19.98	0.58	OK
15.37	0.45		19.87	0.02	OK
14.72	4.99		19.76	0.25	OK
29.27	4.59		22.14	0.21	OK
28.62	0.46		22.04	0.02	OK
27.97	11.99		21.93	0.55	OK
17.02	7.52		20.14	0.37	OK
16.00	1.17		19.97	0.06	OK
14.98	9.86		19.80	0.50	OK
21.10	9.76		20.82	0.47	OK
20.22	1.50		20.67	0.07	OK
19.35	12.77		20.53	0.62	OK
14.59	10.21		19.74	0.52	OK
13.72	0.07		19.59	0.00	OK
12.84	4.77		19.45	0.25	OK
18.65	4.76		20.42	0.23	OK

17.78	2.38		20.27	0.12	OK
16.90	14.83		20.12	0.74	OK
8.91	7.56		18.78	0.40	OK
8.26	0.48		18.67	0.03	OK
7.60	1.31		18.56	0.07	OK
12.97	2.11		19.47	0.11	OK
12.31	1.97		19.36	0.10	OK
11.66	11.37		19.25	0.59	OK

VIGA 50x70 Pisos 1-2-3-4 (PORTICO 12 PISOS)

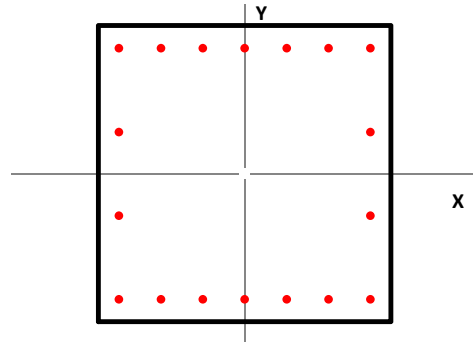
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	50.00 cm	Ancho de la Sección
h	70.00 cm	Altura de la Sección
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	4	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	162 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	--------	----	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	85.41 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	64.10 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	43.23 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	35.04 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	115.49 Ton-m	97.27 Ton-m		Momento Probable Maximo Izq.
$M_{prmax,der}$	115.49 Ton-m	97.27 Ton-m		Momento Probable Maximo Der.
V_{ex}	54.50 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima
A_{min}	10.77 cm ²	Área de Acero Mínima

$P_{max}=0.5P_b$	1.45%	Cuántia Long. Mínima
A_{max}	46.67 cm ²	Área de Acero Mínima

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-85.34 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1818	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.21%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	39.15 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	39.36 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	85.74 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	65.51 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1347	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.90%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	29.08 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	32.15 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	71.77 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.2 Sección Media

Superior	M_u	-31.05 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0613	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.41%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	13.19 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	22.13 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	50.77 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	36.92 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0730	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.49%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	15.76 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	17.42 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	40.61 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.3 Extremo Derecho

Superior	M_u	-85.34 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1818	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.21%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	39.15 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	39.36 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	85.74 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	65.51 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1347	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.90%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	29.08 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	32.15 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	71.77 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

VIGA 45x70 Pisos 5-6-7 (PORTICO 12 PISOS)

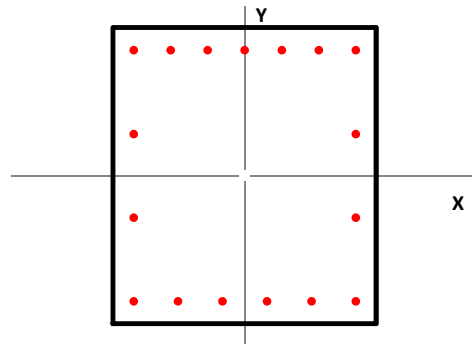
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	45.00 cm	Ancho de la Sección
h	70.00 cm	Altura de la Sección
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	4	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	162 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	---------------	-----------	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	83.26 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	61.95 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	39.41 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	31.21 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	107.47 Ton-m	76.98 Ton-m		Momento Probable Maximo Izq.
$M_{prmax,der}$	107.47 Ton-m	76.98 Ton-m		Momento Probable Maximo Der.
V_{ex}	49.79 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima
A_{min}	9.69 cm ²	Área de Acero Mínima

$P_{max}=0.5P_b$	1.45%	Cuántia Long. Mínima
A_{max}	42.01 cm ²	Área de Acero Mínima

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-76.97 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1822	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.21%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	35.32 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	36.86 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	79.91 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	56.55 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1287	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.86%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	25.00 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	25.02 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	56.59 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

5.2 Sección Media

Superior	M_u	-27.29 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0598	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.40%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	11.59 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	22.13 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	50.40 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	33.10 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0724	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.48%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	14.09 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	15.21 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	35.58 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

5.3 Extremo Derecho

Superior	M_u	-76.97 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1822	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.21%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	35.32 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	36.86 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	79.91 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	56.55 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1287	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.86%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	25.00 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	25.02 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	56.59 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

VIGA 35x65 Pisos 8-9-10 (PORTICO 12 PISOS)

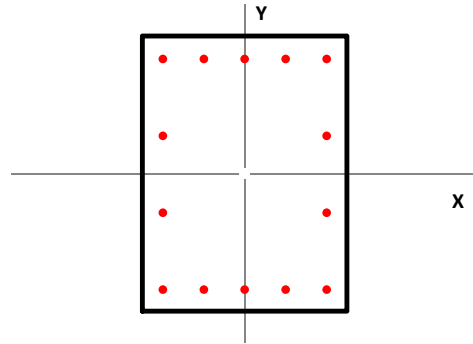
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	35.00 cm	Ancho de la Sección
h	65.00 cm	Altura de la Sección
rec	3.50 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	2	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	149 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	---------------	-----------	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	43.37 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	33.54 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	30.86 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	22.88 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	72.48 Ton-m	50.43 Ton-m		Momento Probable Maximo Izq.
$M_{prmax,der}$	72.48 Ton-m	50.43 Ton-m		Momento Probable Maximo Der.
V_{ex}	39.53 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima
A_{min}	6.95 cm ²	Área de Acero Mínima

$P_{max}=0.5P_b$	1.45%	Cuántia Long. Mínima
A_{max}	30.14 cm ²	Área de Acero Mínima

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-52.23 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1874	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.25%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	26.07 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	27.04 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	53.93 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	35.74 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1217	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.81%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	17.01 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	17.69 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	37.06 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

5.2 Sección Media

Superior	M_u	-17.80 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0586	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.39%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	8.16 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	14.73 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	31.19 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	23.29 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0771	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.51%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	10.78 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	11.40 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	24.58 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

5.3 Extremo Derecho

Superior	M_u	-52.23 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1874	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.25%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	26.07 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	27.04 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	53.93 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	
Inferior	M_u	35.74 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1217	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.81%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	17.01 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	17.69 cm ²	Acero Colocado
	ϕM_n	37.06 Ton-m	Momento Resistente
ESTADO		OK	

VIGA 25x60 Pisos 11-12 (PORTICO 12 PISOS)

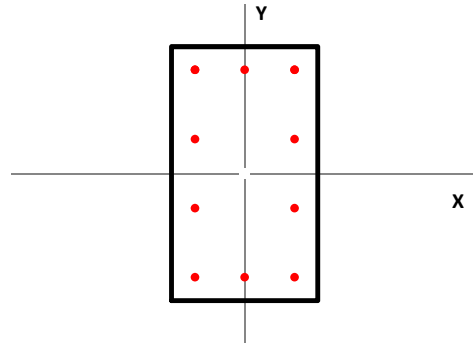
1. Propiedades de la Sección Transversal

b	25.00 cm	Ancho de la Sección
h	60.00 cm	Altura de la Sección
rec	4.00 cm	Rec. al CL. Estribo

2. Acero de Refuerzo Transversal

$\phi_{est.}$	10 mm	Diámetro Estribo
s_{ext}	100 mm	Espac. Secciones Externas
s_{med}	150 mm	Espac. Sección Media
N_R	2	Número de Ramas

Sección Transversal Tipo



3. Propiedades de los Materiales

3.1 Hormigón

f'_c	280 kg/cm ²	Resistencia a la Compresion
E_c	252671 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad
ϵ_{cu}	0.003	Def. Unitaria Última
β_1	0.85	Factor de Bloque Equivalente

3.2 Acero de Refuerzo

f_y	4200 kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Acero
E_s	2100000 kg/cm ²	Mód. de Elasticidad del Acero
ϵ_y	0.002	Def. Unitaria de Fluencia

3.3 Sobrerresistencia

f'_{prc}/f'_c	1.00	Factor de SR. Hormigón
f_{pry}/f_y	1.25	Factor de SR. del Acero
ϵ_{prcu}	0.003	Def. Unitaria Última de SR
β_{1pr}	0.85	Factor de Bloque Equivalente

4. Diseño a Cortante

4.1 Requerimientos Minimos de Confinamiento

s_{max}	136 mm	ESTADO	OK	Espaciamiento Maximo de Estribos
-----------	--------	---------------	-----------	----------------------------------

4.2 Resistencia al Cortante-Cortante Sismico

L_u	6.00 m	Longitud de la Viga
w_u	6.35 Ton/m	Carga Gravitacional Ultima

4.2.1 Resistencia de la Seccion Proporcionada

ϕ	0.75	Factor de Reduccion
ϕV_{xext}	36.03 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Externa
ϕV_{xmed}	27.04 Ton	Resistencia a Cortante de la Seccion Media

4.2.2 Demanda de Cortante Analisis

V_{uxext}	20.45 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion
V_{uxint}	12.72 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante de la Seccion

4.2.3 Demanda de Cortante Sismico

$M_{prmax,izq}$	40.74 Ton-m	23.45 Ton-m		Momento Probable Maximo Izq.
$M_{prmax,der}$	40.74 Ton-m	23.45 Ton-m		Momento Probable Maximo Der.
V_{ex}	29.74 Ton	ESTADO	OK	Demanda de Cortante Sismico de la Seccion

5. Diseño a Flexión

P_{min}	0.33%	Cuántia Long. Mínima
A_{min}	4.54 cm ²	Área de Acero Mínima

$P_{max}=0.5P_b$	1.45%	Cuántia Long. Mínima
A_{max}	19.69 cm ²	Área de Acero Mínima

5.1 Extremo Izquierdo

Superior	M_u	-29.34 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1748	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.17%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	15.88 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	16.43 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	30.24 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	10.44 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0577	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.38%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	5.24 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	8.83 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	17.14 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.2 Sección Media

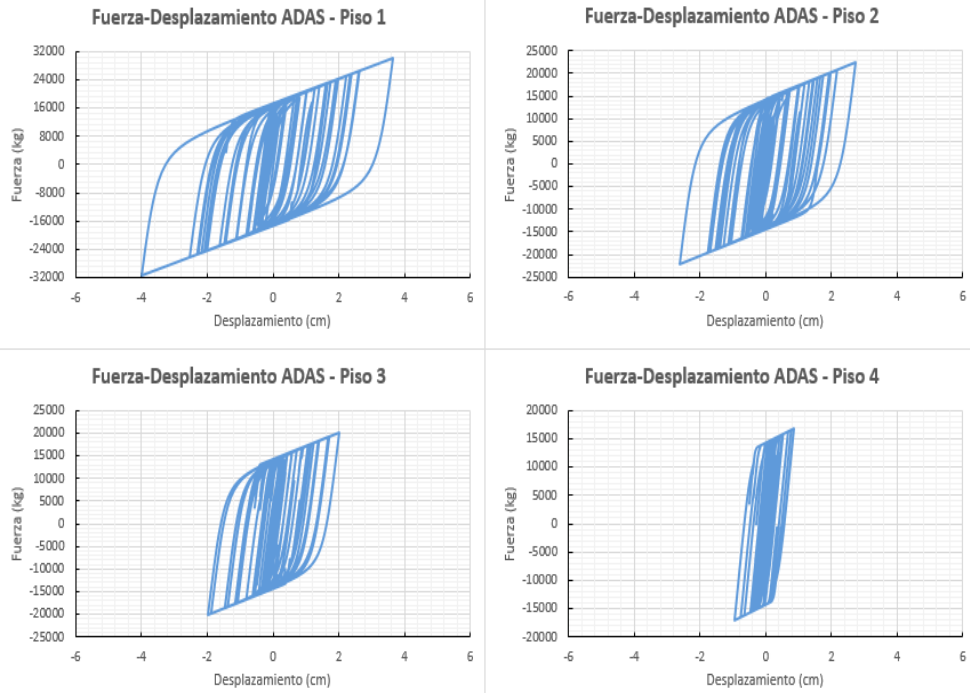
Superior	M_u	-5.79 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0315	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.21%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	2.86 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	8.83 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	17.14 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	12.05 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0670	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.45%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	6.09 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	8.83 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	17.14 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

5.3 Extremo Derecho

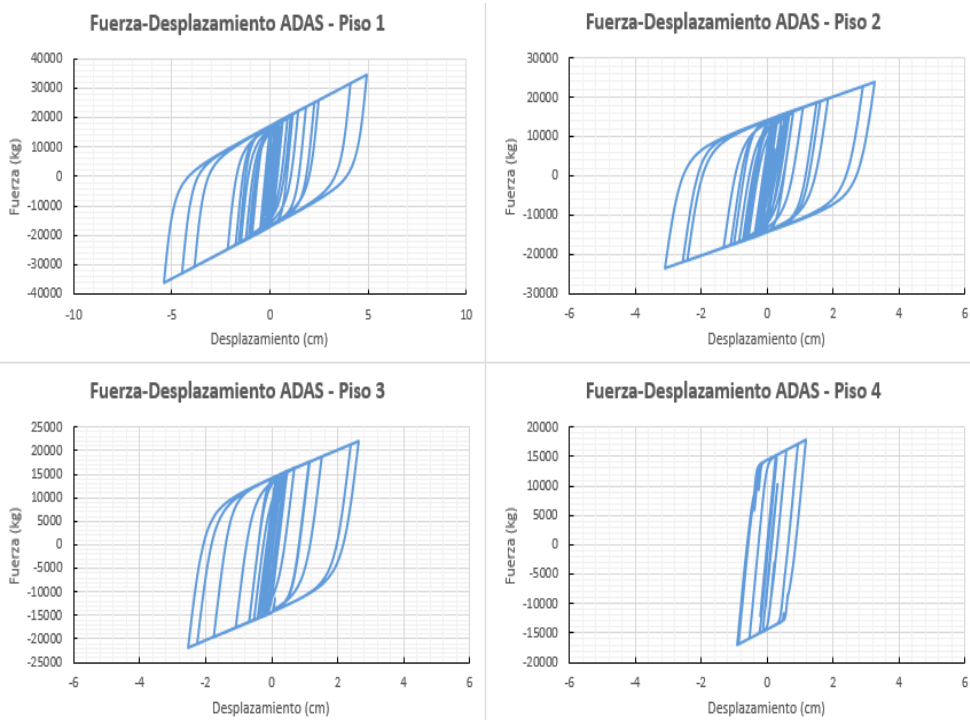
Superior	M_u	-29.34 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.1748	Índice de Armado
	$P_{req.}$	1.17%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	15.88 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	16.43 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	30.24 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		
Inferior	M_u	10.44 Ton-m	Momento Ultimo
	$\omega_{req.}$	0.0577	Índice de Armado
	$P_{req.}$	0.38%	Cuántia Requerida
	$A_{sreq.}$	5.24 cm ²	Acero Requerido
	$A_{scol.}$	8.83 cm ²	Acero Colocado
ϕM_n	17.14 Ton-m	Momento Resistente	
ESTADO	OK		

ANEXO 2

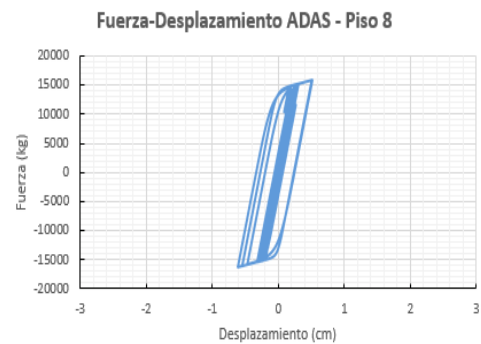
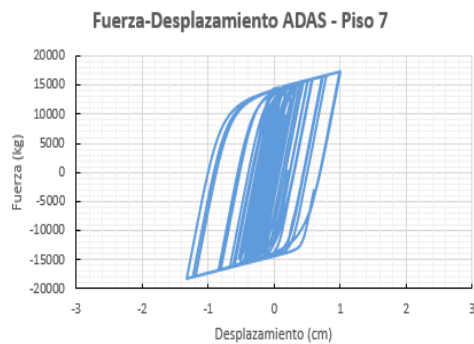
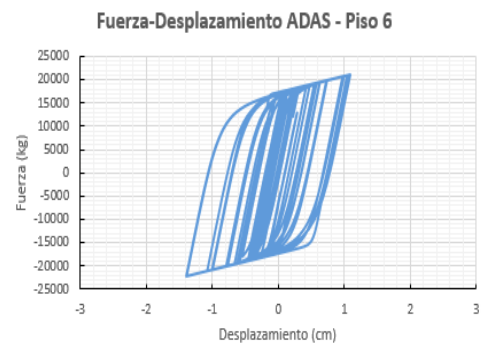
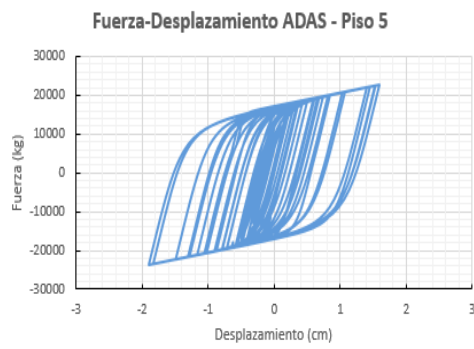
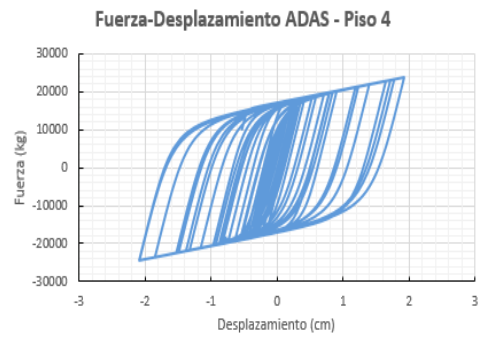
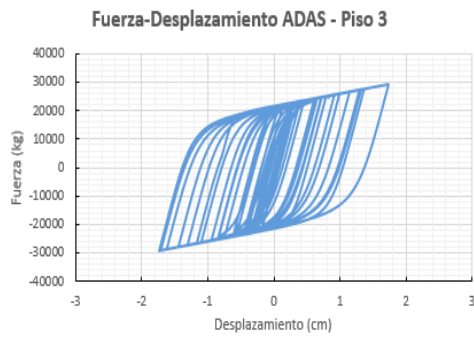
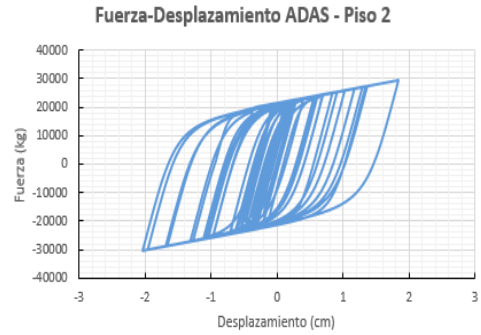
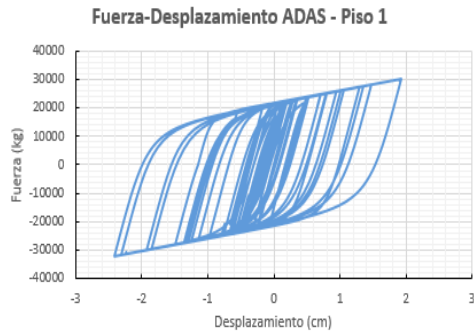
Histéresis de Disipadores ADAS



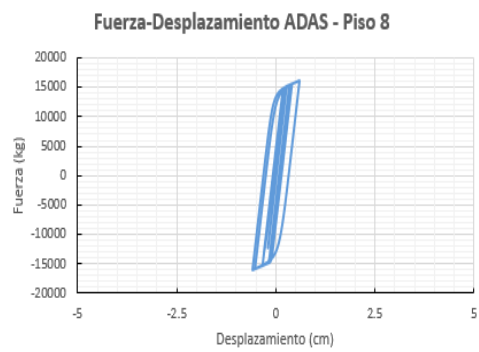
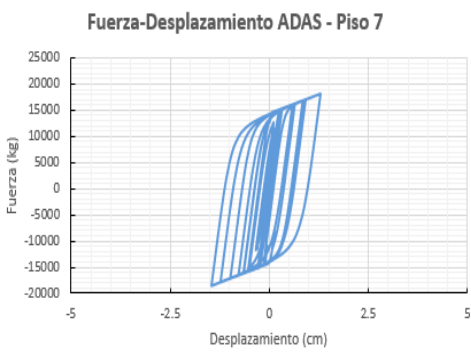
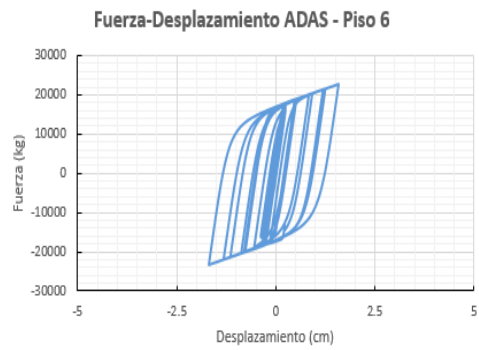
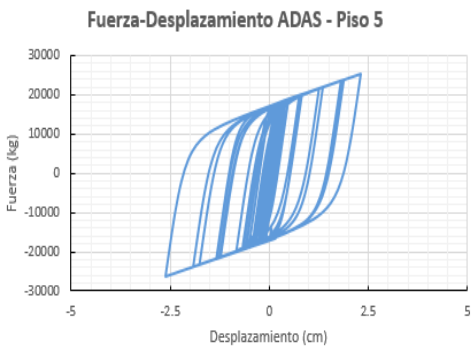
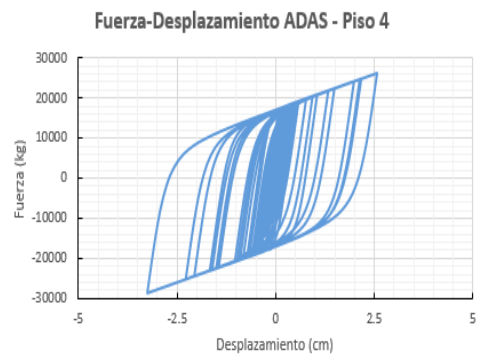
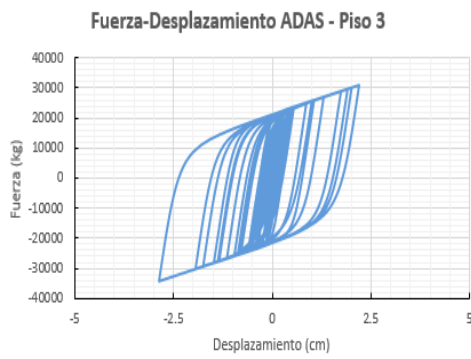
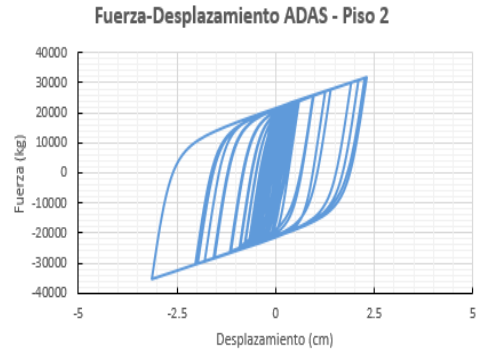
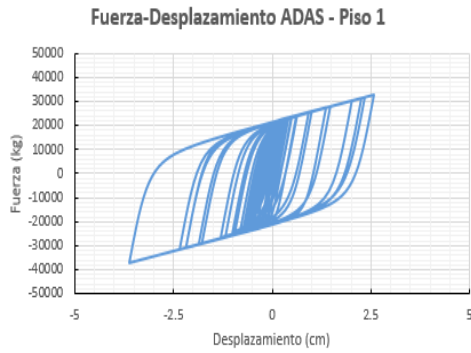
A2. 1 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG1



A2. 2 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 4 Pisos – Sismo SG2

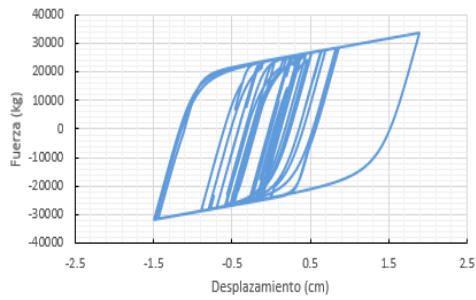


A2. 3 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG1

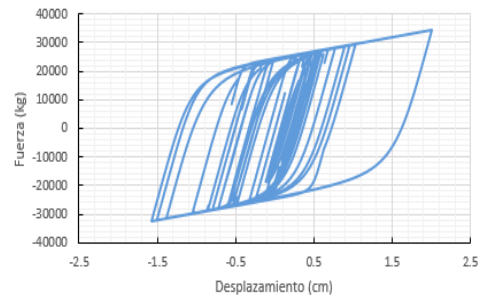


A2. 4 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 8 Pisos – Sismo SG2

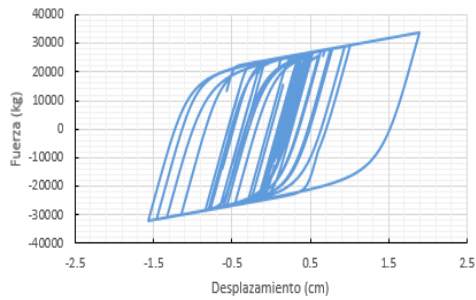
Fuerza-Desplazamiento ADAS - Piso 1



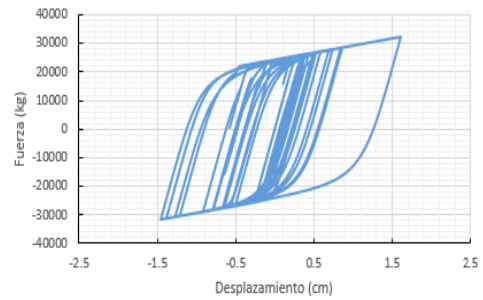
Fuerza-Desplazamiento ADAS - Piso 2



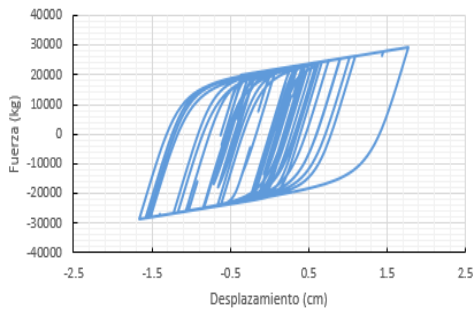
Fuerza-Desplazamiento ADAS - Piso 3



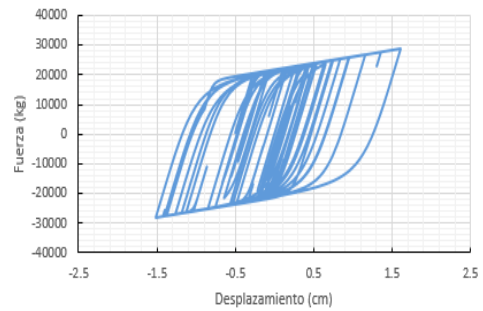
Fuerza-Desplazamiento ADAS - Piso 4



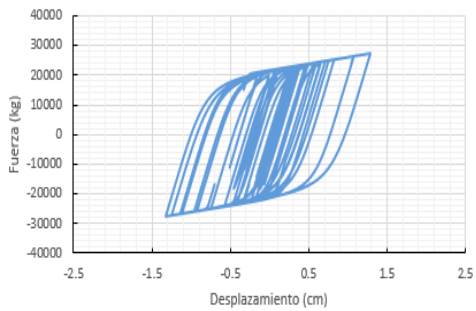
Fuerza-Desplazamiento ADAS - Piso 5



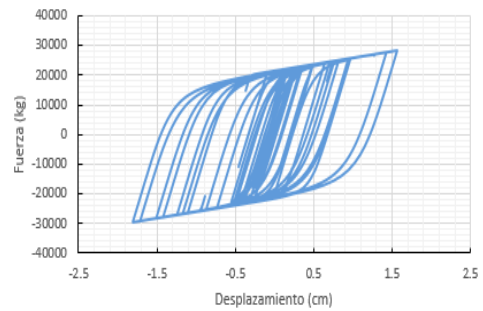
Fuerza-Desplazamiento ADAS - Piso 6

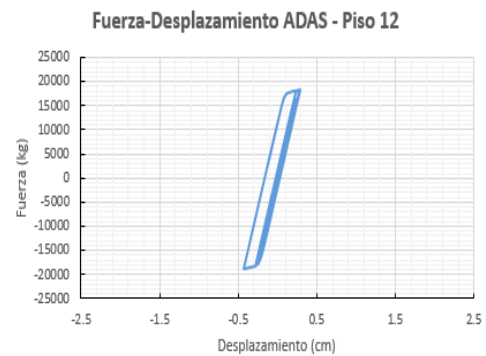
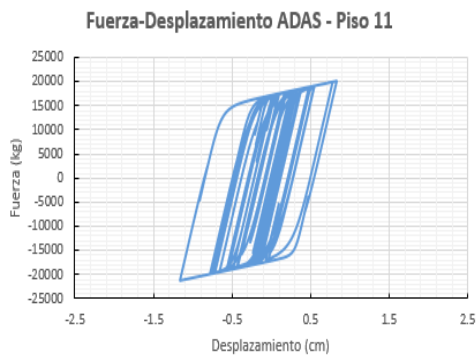
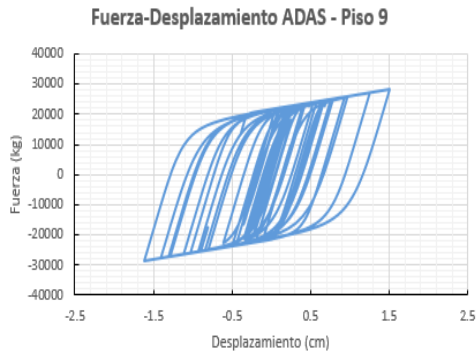


Fuerza-Desplazamiento ADAS - Piso 7

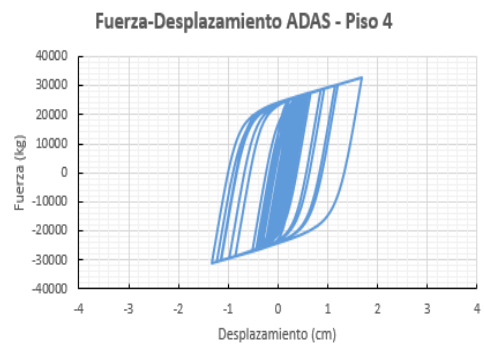
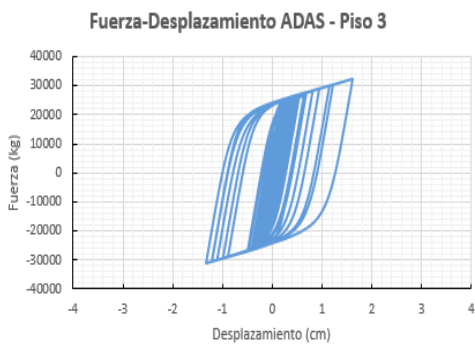
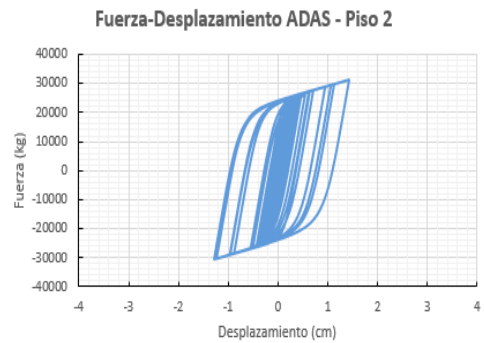
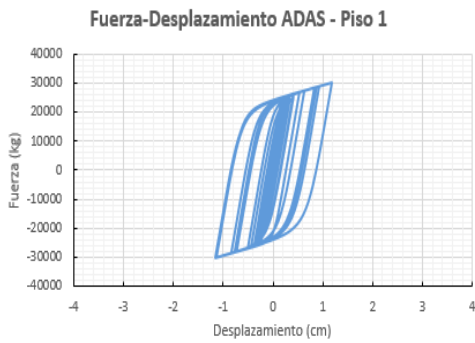


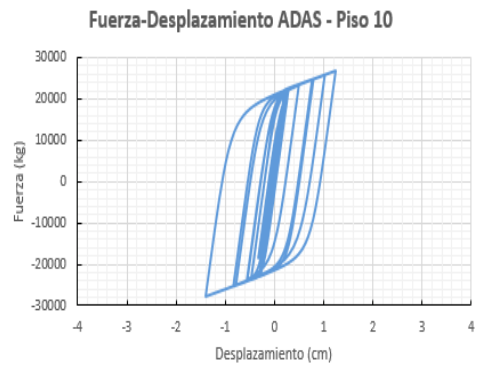
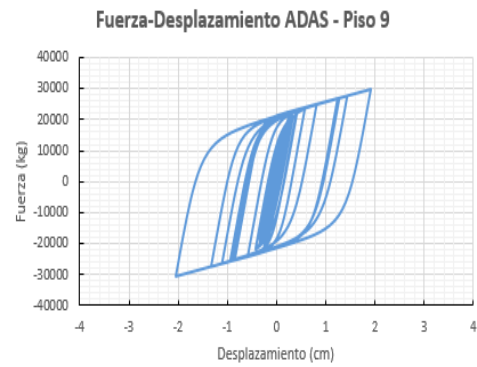
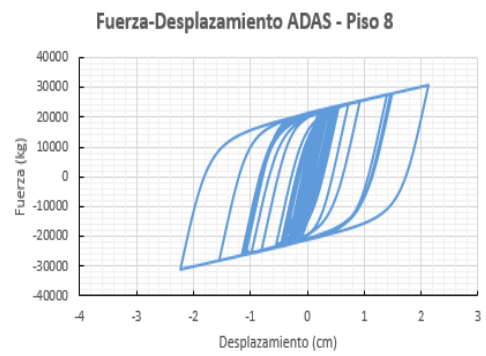
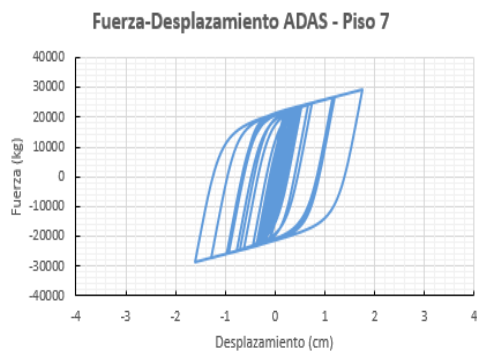
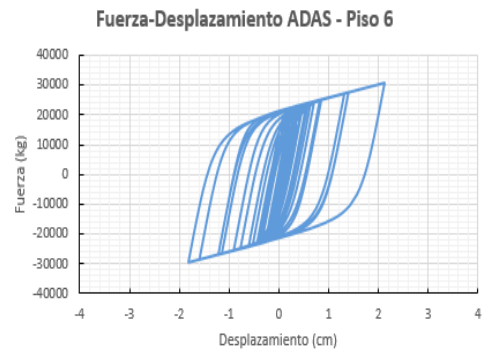
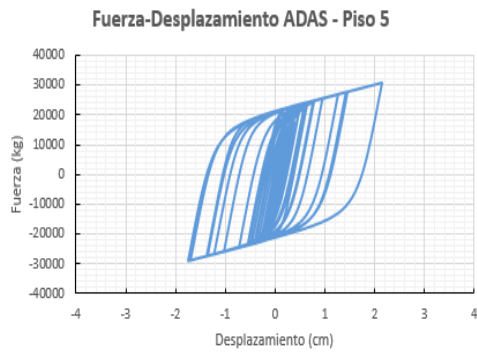
Fuerza-Desplazamiento ADAS - Piso 8





A2. 5 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG1





A2. 6 Histéresis de los Disipadores ADAS – Pórtico de 12 Pisos – Sismo SG2

ANEXO 3

Misceláneos del Análisis en OpenSees

Periodos de Vibración (seg)				
Modo de Vibración	Elástico		Luego de aplicar la Carga Gravitacional	
	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES
1	0.8460	0.5321	1.0094	0.5534
2	0.2973	0.1893	0.3448	0.1967
3	0.1645	0.1137	0.1818	0.1179
4	0.1180	0.0877	0.1223	0.0892
5	0.0647	0.0636	0.0779	0.0726

A3. 1 Periodos de Vibración Pórtico de 4 Pisos OpenSees

Periodos de Vibración (seg)				
Modo de Vibración	Elástico		Luego de aplicar la Carga Gravitacional	
	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES
1	1.1032	0.8320	1.3334	0.8847
2	0.3977	0.2961	0.4858	0.3147
3	0.2360	0.1768	0.2825	0.1864
4	0.1546	0.1210	0.1781	0.1273
5	0.1146	0.0929	0.1272	0.0971
6	0.0918	0.0768	0.0979	0.0791
7	0.0743	0.0643	0.0790	0.0729
8	0.0653	0.0641	0.0771	0.0652
9	0.0626	0.0570	0.0708	0.0631
10	0.0593	0.0553	0.0640	0.0585
11	0.0555	0.0545	0.0637	0.0559
12	0.0541	0.0527	0.0604	0.0554

A3. 2 Periodos de Vibración Pórtico de 8 Pisos OpenSees

Periodos de Vibración (seg)				
Modo de Vibración	Elástico		Luego de aplicar la Carga Gravitacional	
	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES
1	1.3463	1.0835	1.4249	1.1091
2	0.5220	0.4007	0.5931	0.4204
3	0.3044	0.2328	0.3395	0.2406
4	0.2168	0.1662	0.2395	0.1723
5	0.1552	0.1238	0.1673	0.1274
6	0.1243	0.1007	0.1325	0.1040
7	0.1014	0.0840	0.1062	0.0863
8	0.0863	0.0732	0.0892	0.0747
9	0.0732	0.0642	0.0779	0.0721
10	0.0653	0.0630	0.0747	0.0639
11	0.0636	0.0567	0.0700	0.0621
12	0.0593	0.0567	0.0646	0.0573

A3. 3 Periodos de Vibración Pórtico de 12 Pisos OpenSees

$$W_{sis} = 541.50 \text{ Tonf}$$

CORTANTE BASAL MÁXIMO				
Sismo	SIN DISIPADORES		CON DISIPADORES	
	Tonf	%	Tonf	%
Centenario 1993	79.47	14.68%	135.08	24.95%
SG1	100.35	18.53%	150.55	27.80%
SG2	99.95	18.46%	164.83	30.44%

A3. 4 Cortante Basal Máximo Pórtico de 4 Pisos OpenSees

$$W_{sis} = 1163.70 \text{ Tonf}$$

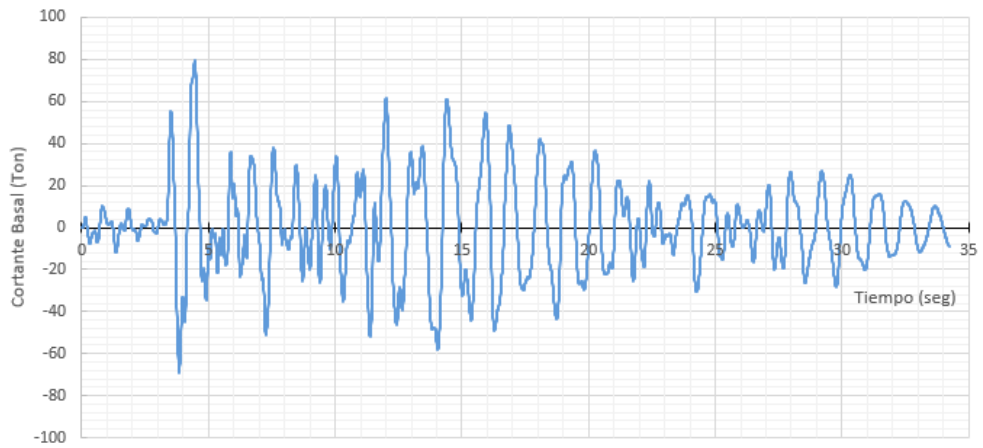
CORTANTE BASAL MÁXIMO				
Sismo	SIN DISIPADORES		CON DISIPADORES	
	Tonf	%	Tonf	%
Centenario 1993	135.43	11.64%	174.80	15.02%
SG1	204.36	17.56%	241.66	20.77%
SG2	157.66	13.55%	262.97	22.60%

A3. 5 Cortante Basal Máximo Pórtico de 8 Pisos OpenSees

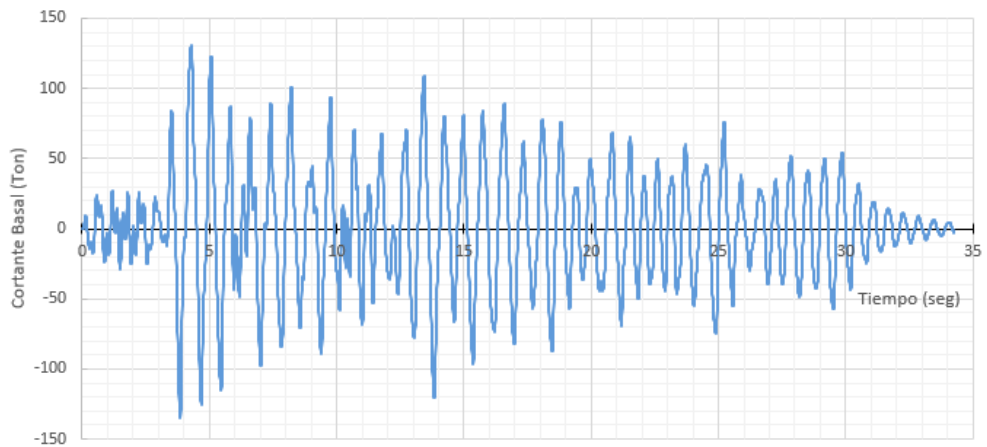
$$W_{sis} = 1866.20 \text{ Tonf}$$

CORTANTE BASAL MÁXIMO				
Sismo	SIN DISIPADORES		CON DISIPADORES	
	Tonf	%	Tonf	%
Centenario 1993	266.53	14.28%	237.72	12.74%
SG1	303.39	16.26%	361.93	19.39%
SG2	216.19	11.58%	286.84	15.37%

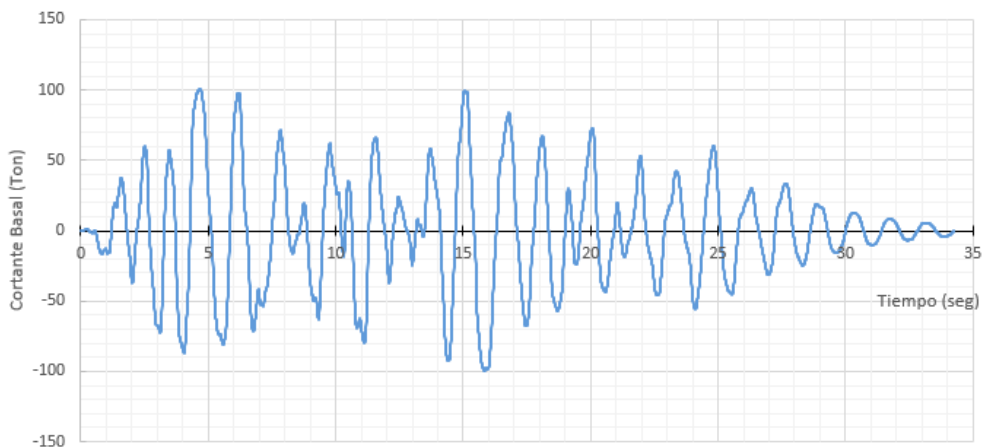
A3. 6 Cortante Basal Máximo Pórtico de 12 Pisos OpenSees



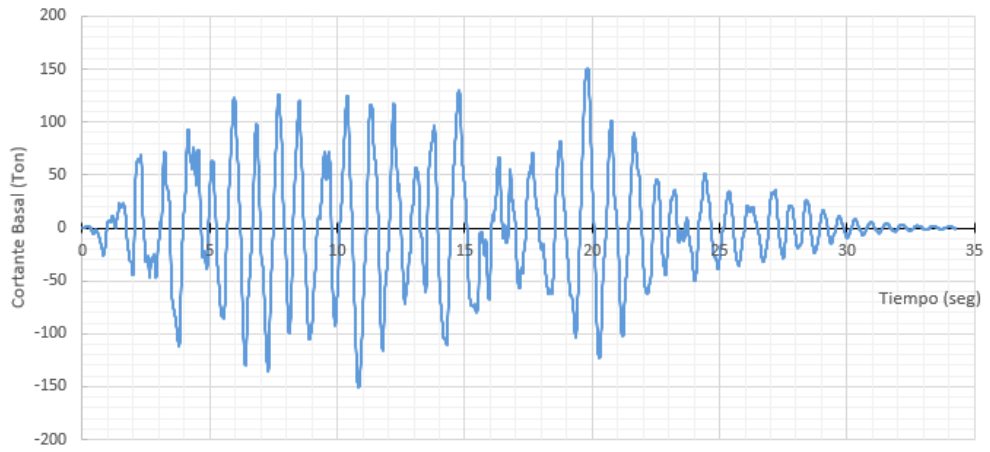
A3. 7 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 4 Pisos Sin Disipadores – Sismo El Centenario 1993



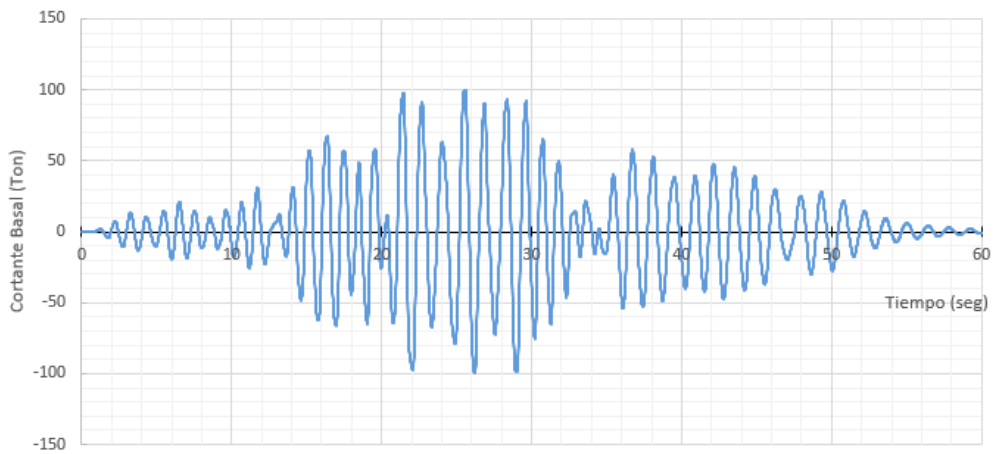
A3. 8 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 4 Pisos Con Disipadores – Sismo El Centenario 1993



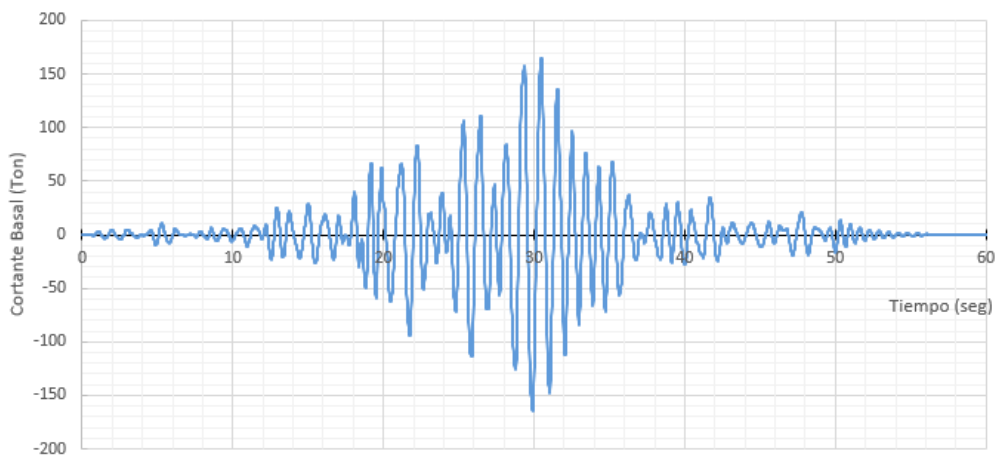
A3. 9 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 4 Pisos Sin Disipadores – Sismo SG1



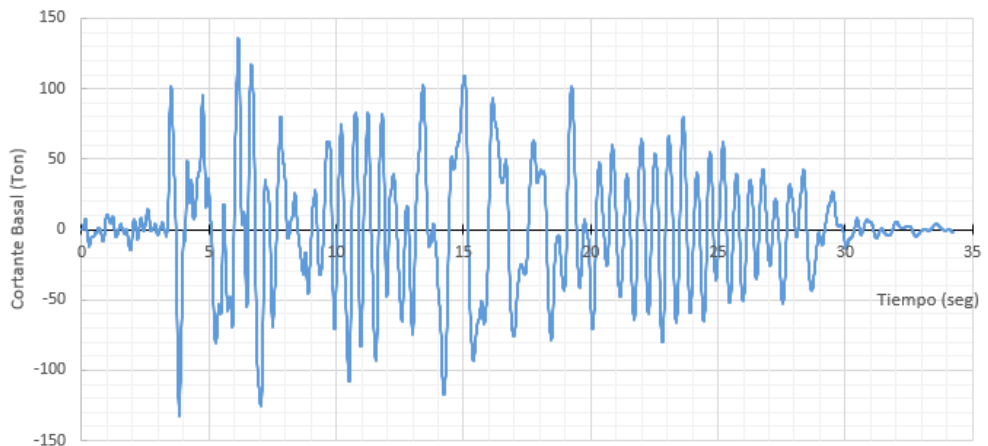
A3. 10 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 4 Pisos Con Disipadores – Sismo SG1



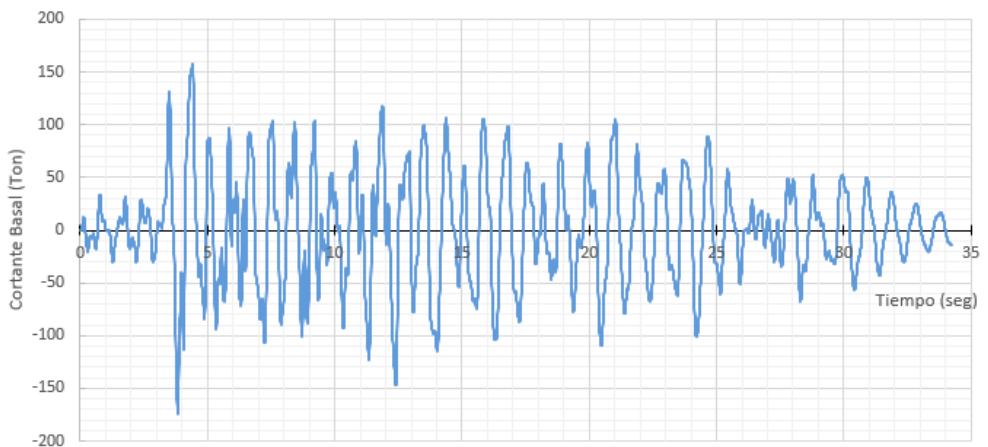
A3. 11 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 4 Pisos Sin Disipadores – Sismo SG2



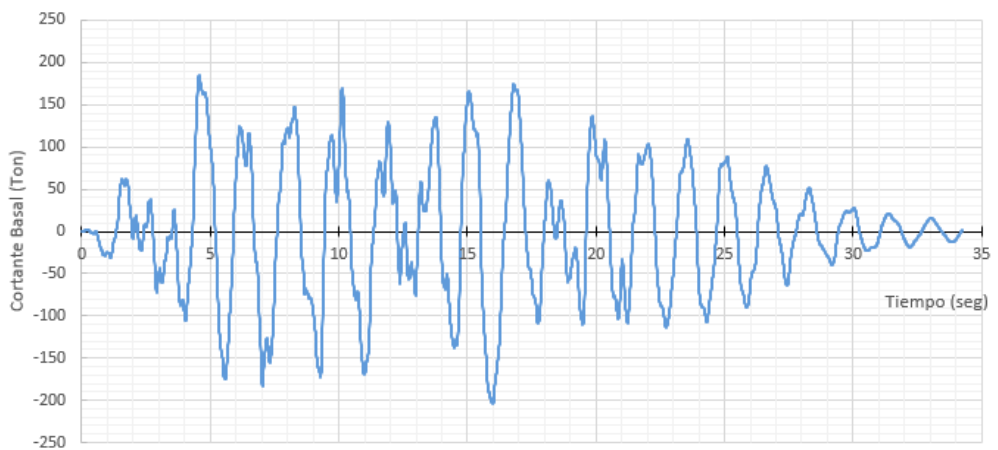
A3. 12 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 4 Pisos Con Disipadores – Sismo SG2



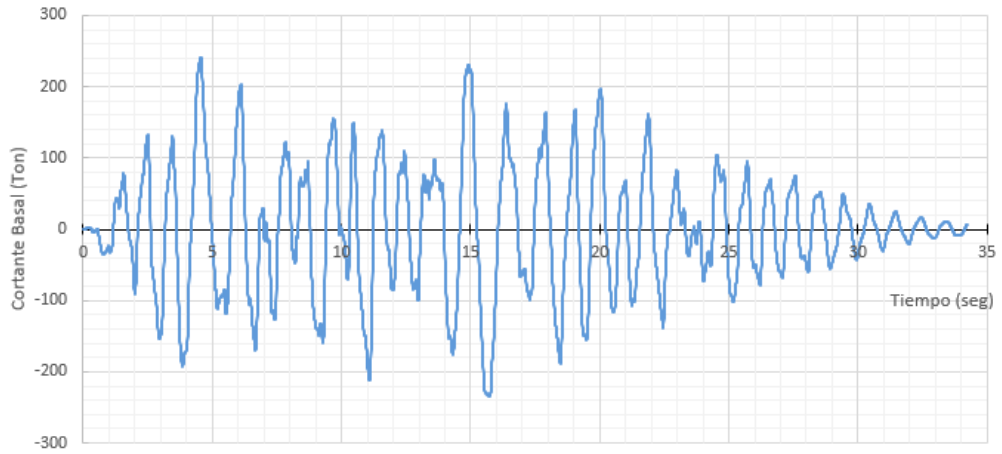
A3. 13 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 8 Pisos Sin Disipadores – Sismo El Centenario 1993



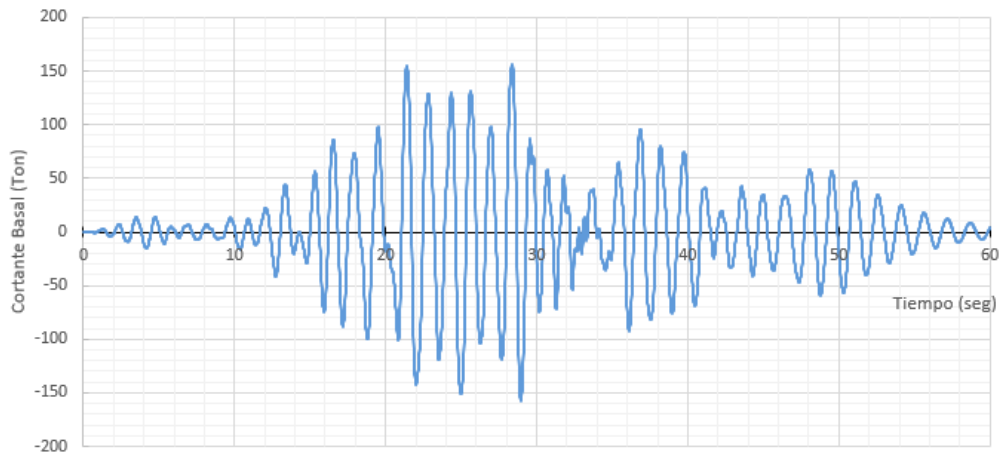
A3. 14 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 8 Pisos Con Disipadores – Sismo El Centenario 1993



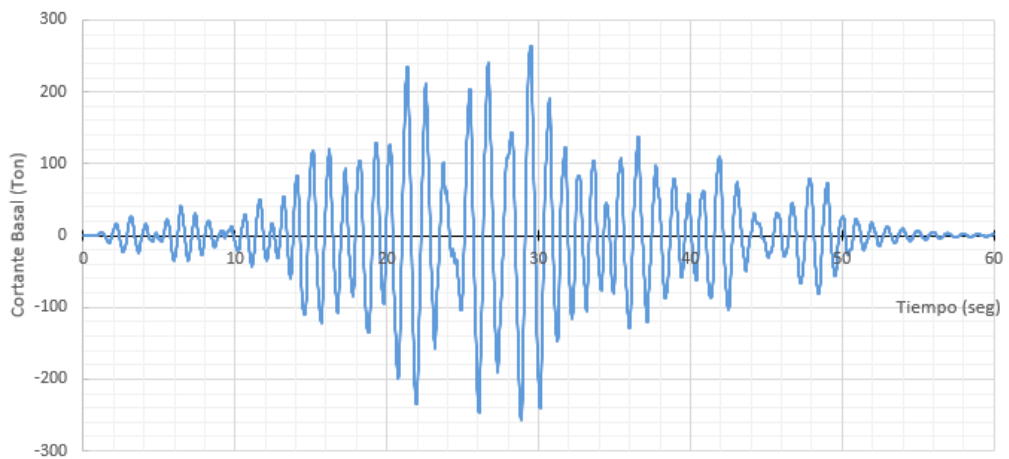
A3. 15 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 8 Pisos Sin Disipadores – Sismo SG1



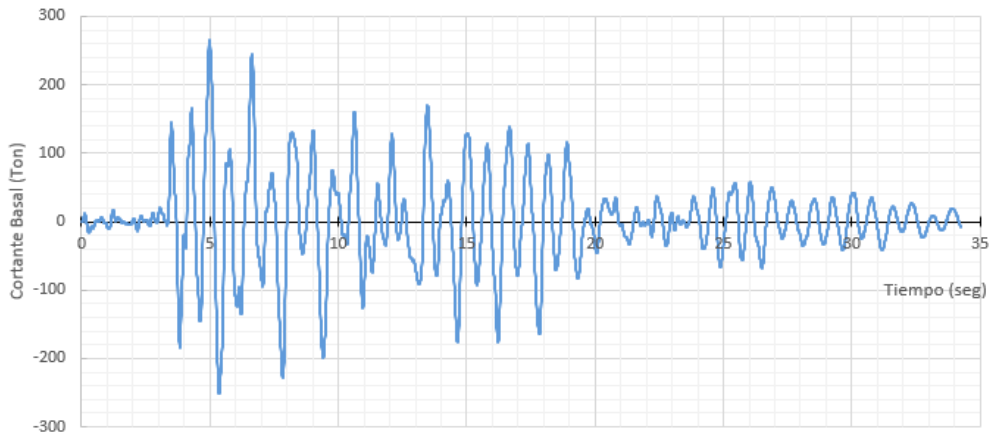
A3. 16 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 8 Pisos Con Disipadores – Sismo SG1



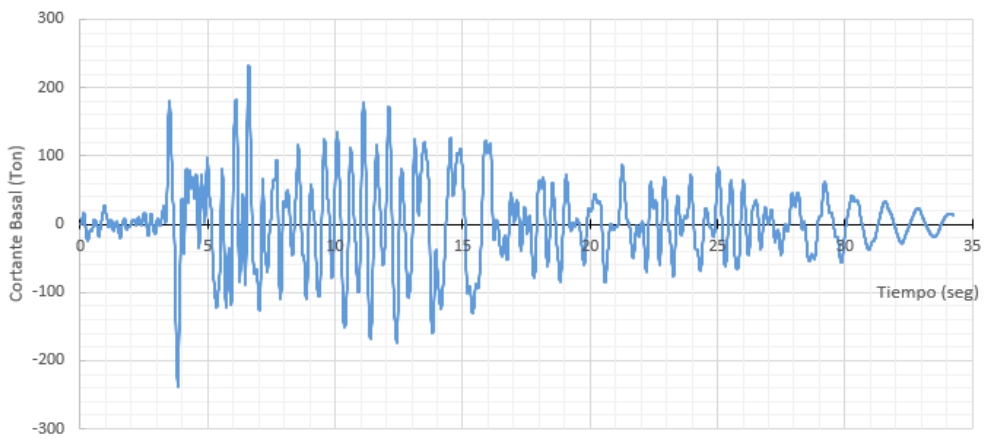
A3. 17 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 8 Pisos Sin Disipadores – Sismo SG2



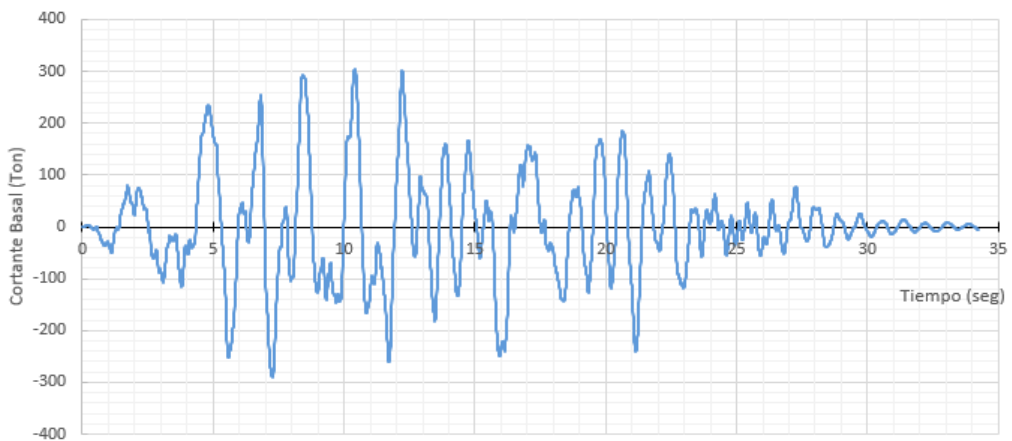
A3. 18 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 8 Pisos Con Disipadores – Sismo SG2



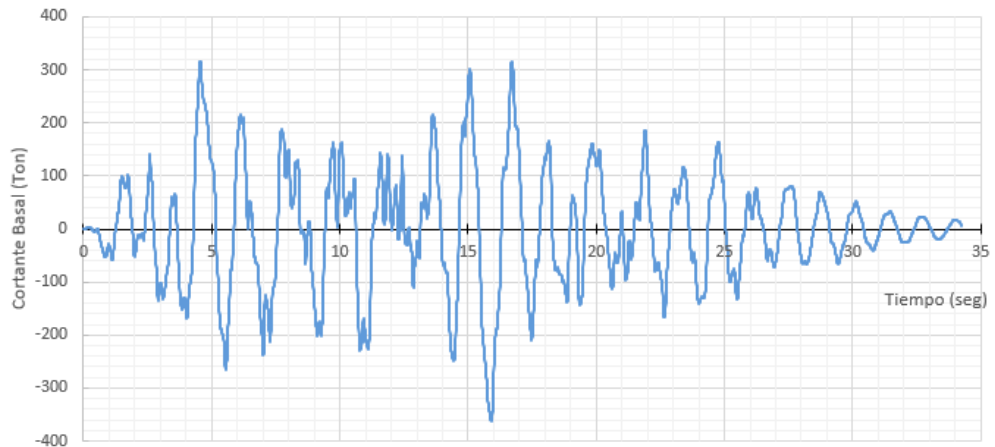
A3. 19 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 12 Pisos Sin Disipadores – Sismo El Centenario 1993



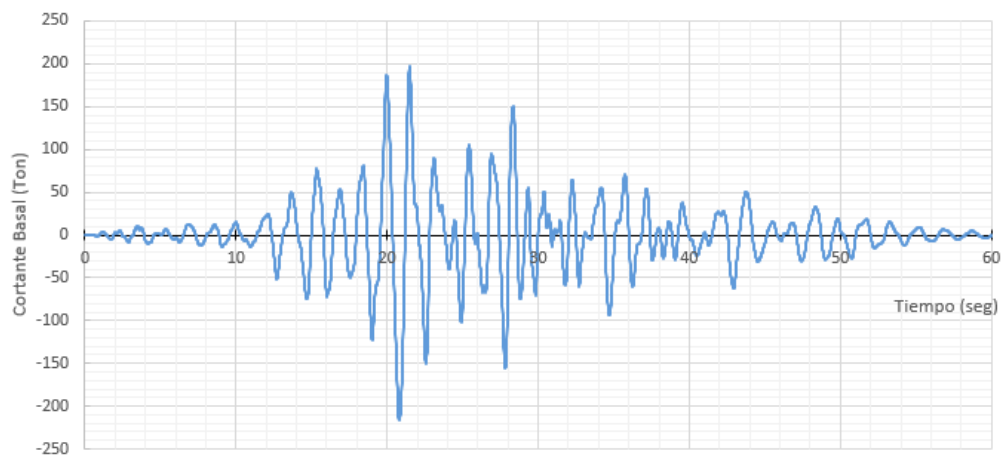
A3. 20 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 12 Pisos Con Disipadores – Sismo El Centenario 1993



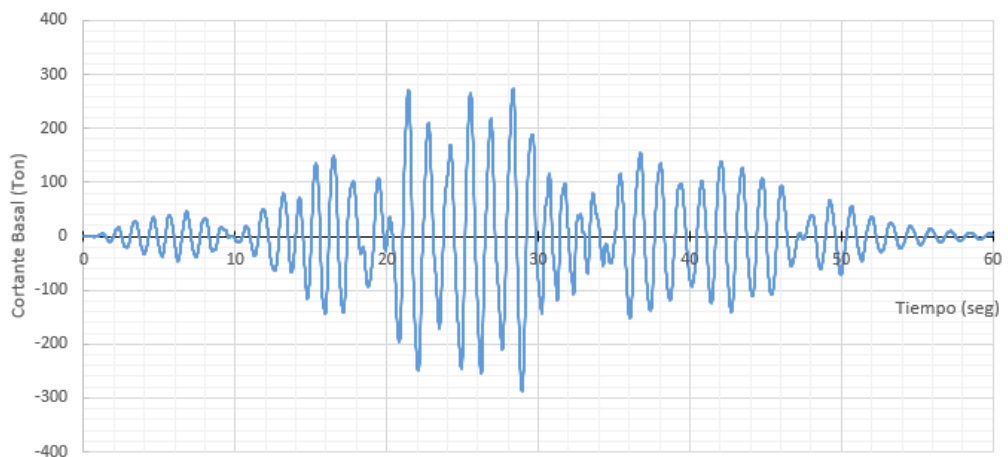
A3. 21 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 12 Pisos Sin Disipadores – Sismo SG1



A3. 22 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 12 Pisos Con Disipadores – Sismo SG1



A3. 23 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 12 Pisos Sin Disipadores – Sismo SG2



A3. 24 Cortante Basal vs. Tiempo Pórtico de 12 Pisos Con Disipadores – Sismo SG2