

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**SEDE JAÉN**



**EVALUACIÓN DEL DISEÑO CON DISIPADORES DE ENERGÍA DEL  
EDIFICIO PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE CAJAMARCA - SEDE JAÉN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR**

**BACH YANIRE SOLEDAD CALDERÓN TERRONES**

**ASESOR**

**ING PACO ARTURO CACHAY DÍAZ**

**JAÉN - CAJAMARCA - PERÚ**

**2014**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**SEDE JAÉN**



**EVALUACIÓN DEL DISEÑO CON DISIPADORES DE ENERGÍA DEL  
EDIFICIO PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
CAJAMARCA - SEDE JAÉN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**BACHILLER: Yanire Soledad Calderón Terrones**

**ASESOR: Ing. Paco Arturo Cachay Díaz**

**JAÉN - CAJAMARCA - PERÚ**

**2014**

**COPYRIGHT © 2014 by**  
**YANIRE SOLEDAD CALDERÓN TERRONES**  
**Todos los derechos reservados**

**A:**

**Dios, por guiarme y darme siempre fuerzas para seguir adelante y no desfallecer ante las adversidades.**

**Mis padres Clavelina y Mardoqueo por brindarme su amor, apoyo incondicional en cada momento de mi vida.**

**Mis hermanos Vanessa y Juan Carlos por brindarme su apoyo, amistad y comprensión en el desarrollo de mi carrera y mi vida.**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Facultad de Ingeniería, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil – Sede Jaén y a los docentes por brindarme los conocimientos y enseñanzas necesarios para mi formación académica profesional.

A mi asesor el Ing. Paco Arturo Cachay Díaz, por su orientación y guía para la elaboración de la presente Tesis.

A todos mis familiares y amigos, por su apoyo y confianza durante mi formación académica profesional.

# CONTENIDO

Contenido	Págs
PORTADA.....	i
COPYRIGHT.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes teóricos.....	4
2.1.1 Internacionales.....	4
2.1.2 Nacionales.....	4
2.1.3 Locales.....	8
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Diseño sismorresistente convencional.....	9
2.2.2 Diseño sismorresistente con sistemas de protección sísmica.....	10
2.2.3 Balance energético de estructuras.....	10
2.2.4 Sistemas de protección sísmica.....	12
2.2.5 Sistemas pasivos de disipación de energía.....	12
2.2.6 Modelo del sistema de amortiguamiento.....	13
2.2.7 Requisitos del ASCE (American Society of Civil Engineers) para diseño sísmico con sistemas pasivos de disipación de energía....	15
2.2.8 Disipadores de energía fluido viscoso.....	18
2.2.9 Diseño de edificaciones basado en el desempeño.....	34
2.2.10 Metodología del diseño con de disipadores de energía para una edificación.....	41
2.2.11 Síntesis de la metodología.....	51

<b>Contenido</b>		<b>Págs</b>
2.3	Definición de términos básicos.....	52
2.3.1	Acelerograma.....	52
2.3.2	Análisis tiempo-historia.....	52
2.3.3	Amortiguación.....	52
2.3.4	Brazos rígidos.....	52
2.3.5	Derivas.....	52
2.3.6	Diafragma rígido.....	52
2.3.7	Disipadores de energía fluido viscoso.....	52
2.3.8	Estructura.....	52
2.3.9	Elementos estructurales.....	52
2.3.10	Elementos no estructurales.....	53
2.3.11	Grados de libertad.....	53
2.3.12	Nivel de desempeño.....	53
2.3.13	Modos de vibración.....	53
2.3.14	Vulnerabilidad sísmica de una estructura.....	53
<b>CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>		<b>54</b>
3.1	Ubicación geográfica.....	54
3.2	Ubicación en el tiempo.....	55
3.3	Procedimiento para el diseño de la edificación con disipadores de energía.....	56
3.3.1	Descripción de la estructura.....	56
3.3.2	Metrado de cargas.....	59
3.3.3	Peso sísmico.....	60
3.3.4	Masas traslacionales y rotacionales.....	61
3.3.5	Centro de masas, excentricidad accidental y momento de inercia..	61
3.3.6	Parámetros sísmicos.....	62
3.3.7	Análisis sísmico de la edificación sin sistemas de disipación de energía.....	70
3.3.8	Elección de los objetivos del desempeño sísmico.....	88
3.3.9	Definición de los objetivos de diseño.....	88
3.3.10	Determinación de la ubicación y número de los dispositivos de disipación de energía en la estructura.....	90
3.3.11	Definición de las propiedades del disipador de energía.....	91

<b>Contenido</b>	<b>Págs</b>
3.3.12 Análisis sísmico de la edificación con sistemas de disipación de energía.....	95
3.3.13 Evaluación de los sistemas de disipación de energía lineales y no lineales.....	113
3.3.14 Diseño estructural.....	122
3.3.15 Determinación de los costos.....	124
3.4 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.....	125
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>126</b>
4.1 Derivas.....	126
4.2 Fuerza cortante y momentos máximos en las columnas.....	128
4.3 Costo de la edificación con un sistema de disipación de energía y costo del sistema de disipación de energía.....	129
4.4 Contrastación de hipótesis.....	130
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>130</b>
Conclusiones.....	131
Recomendaciones.....	132
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>133</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

Título	Págs
Tabla 1. Coeficiente de amortiguamiento, $B_{V+I}$ , $B_{1D}$ , $B_R$ , $B_{1M}$ , $B_{mD}$ , $B_{mM}$ (Cuando el periodo de la estructura $\geq T_0$ ).....	18
Tabla 2. Valores del parámetro lambda.....	24
Tabla 3. Aplicabilidad del aislamiento y los sistemas de disipación de energía.....	28
Tabla 4. Sismos de diseño.....	35
Tabla 5. Descripción de los estados de daño y niveles de desempeño..	37
Tabla 6. Matriz de desempeño.....	38
Tabla 7. Sismos de diseño, aceleraciones máximas en la roca para la Costa del Perú y comportamiento estructural mínimo deseado.	39
Tabla 8. Descripción del estado de daño en los edificios.....	40
Tabla 9. Descripción del sistema estructural de concreto armado.....	40
Tabla 10. Estado de daño y deriva objetivo para un código de nivel moderado de una estructura de concreto armado.....	41
Tabla 11. Límites para el desplazamiento lateral de entrepiso.....	41
Tabla 12. Objetivos del diseño por desempeño para edificaciones esenciales.....	42
Tabla 13. Propiedades geométricas HSS9,625 - HSS6,875.....	50
Tabla 14. Datos generales.....	56
Tabla 15. Áreas por ambientes.....	57
Tabla 16. Sistema estructural.....	57
Tabla 17. Pesos unitarios para la carga muerta (CM).....	59
Tabla 18. Cargas vivas mínimas repartidas para la carga viva (CV).....	59
Tabla 19. Metrado de cargas para el primer nivel.....	59
Tabla 20. Metrado de cargas para el segundo nivel.....	60
Tabla 21. Metrado de cargas para el tercer nivel.....	60
Tabla 22. Peso sísmico.....	60
Tabla 23. Masa translacionales y rotacionales.....	61
Tabla 24. Cálculo de las áreas totales de las columnas por piso.....	64
Tabla 25. Cálculo de las masas totales por piso.....	65

Título	Págs
Tabla 26. Desplazamientos de esquina en la dirección X-X.....	68
Tabla 27. Desplazamientos de esquina en la dirección Y-Y.....	68
Tabla 28. Parámetros sísmicos.....	80
Tabla 29. Desplazamientos laterales y derivas en la dirección X-X.....	83
Tabla 30. Desplazamientos laterales y derivas en la dirección Y-Y.....	83
Tabla 31. Datos de registros sísmicos.....	84
Tabla 32. Desplazamiento laterales (m) por nivel y por registro tiempo - historia en la dirección X-X.....	87
Tabla 33. Desplazamiento laterales (m) por nivel y por registro tiempo - historia en la dirección Y-Y.....	87
Tabla 34. Derivas (‰) por nivel y por registro tiempo - historia en la dirección X-X.....	87
Tabla 35. Derivas (‰) por nivel y por registro tiempo - historia en la dirección Y-Y.....	88
Tabla 36. Descripción de estado de daño y deriva para edificios tipo CM1	89
Tabla 37. Dimensiones y propiedades del perfil metálico seleccionado.....	91
Tabla 38. Rigidez del brazo metálico en la dirección X-X e Y-Y.....	92
Tabla 39. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento "C" para disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X.....	92
Tabla 40. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento "C" para disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y.....	93
Tabla 41. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento "C" para disipadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X.....	93
Tabla 42. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento "C" para disipadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y.....	94
Tabla 43. Coeficientes de amortiguamiento del disipador en función de $\alpha$ .	95
Tabla 44. Desplazamiento laterales (m) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X.....	97
Tabla 45. Desplazamiento laterales (m) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y.....	97
Tabla 46. Derivas (‰) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X.....	98
Tabla 47. Derivas (‰) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y.....	98

Título	Págs
Tabla 48. Fuerzas de diseño para los disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X.....	104
Tabla 49. Fuerzas de diseño para los disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y.....	105
Tabla 50. Desplazamiento laterales (m) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X.....	105
Tabla 51. Desplazamiento laterales (m) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y.....	105
Tabla 52. Derivas (‰) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X.....	106
Tabla 53. Derivas (‰) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y.....	106
Tabla 54. Fuerzas de diseño para los disipadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X.....	112
Tabla 55. Fuerzas de diseño para los disipadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y.....	112
Tabla 56. Porcentaje de reducción de desplazamientos laterales en la dirección X-X.....	113
Tabla 57. Porcentaje de reducción de desplazamientos laterales en la dirección Y-Y.....	113
Tabla 58. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X.....	115
Tabla 59. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección Y-Y.....	115
Tabla 60. Porcentaje de reducción de las fuerzas axiales máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección X-X.....	119
Tabla 61. Porcentaje de reducción de las fuerzas axiales máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección Y-Y.....	120
Tabla 62. Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección X-X.....	120
Tabla 63. Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección Y-Y.....	120

Título	Págs
Tabla 64. Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección X-X.....	121
Tabla 65. Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección Y-Y.....	121
Tabla 66. Características de la placa base del diseño propuesto.....	122
Tabla 67. Verificación del brazo en dirección X-X.....	123
Tabla 68. Verificación del brazo en dirección Y-Y.....	123
Tabla 69. Estimación del costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía.....	124
Tabla 70. Estimación del costo total del proyecto (US\$) y de la incidencia de los amortiguadores en el costo total del proyecto (%)......	124
Tabla 71. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X e Y-Y...	126
Tabla 72. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X entre la investigación realizada y las investigaciones de los antecedentes.....	127
Tabla 73. Porcentaje de reducción de la fuerza cortante máxima en la dirección X-X e Y-Y.....	128
Tabla 74. Porcentaje de reducción del momento máximo en la dirección X-X e Y-Y.....	128
Tabla 75. Porcentaje de reducción de la fuerza cortante máxima y el momento máximo.....	128

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Título</b>	<b>Págs</b>
Figura 1. Clasificación de los sistemas de protección sísmica.....	12
Figura 2. Clasificación de los sistemas pasivos de disipación de energía...	13
Figura 3. Esquema de una estructura con sistema pasivo de protección sísmica.....	13
Figura 4. Estructuras de un grado de libertad con dispositivos de amortiguamiento, en disposición diagonal y Chevron.....	15
Figura 5. Disipador de energía fluido viscoso Taylor devices inc.....	18
Figura 6. Partes de un disipador de energía fluido viscoso.....	19
Figura 7. Esquema general de un disipador de energía fluido viscoso Taylor devices inc.....	20
Figura 8. Comportamiento fuera de fase de los disipadores fluido viscoso	21
Figura 9. Comportamiento de un amortiguador al variar $\alpha$ .....	25
Figura 10. Disipador en disposición Chevron.....	32
Figura 11. Disipador en disposición diagonal.....	33
Figura 12. Curvas de fragilidad para los estados de daño leve, moderado, extenso y completo.....	39
Figura 13. Ingreso de las propiedades de los disipadores de energía en el SAP.....	45
Figura 14. Propiedades del dispositivo Taylor devices inc. - Argollas.....	48
Figura 15. Propiedades del dispositivo Taylor devices inc. - Placa base.....	49
Figura 16. Síntesis de la metodología.....	51
Figura 17. Ubicación de la provincia de Jaén en el mapa de la región Cajamarca y el mapa distrital de Jaén.....	54
Figura 18. Ubicación del Edificio Principal de la UNC - Sede Jaén.....	55
Figura 19. Ubicación del Edificio Principal de la UNC - Sede Jaén en la Ciudad universitaria.....	55
Figura 20. Planta típica, Corte A - A y Corte B - B de la Edificio Principal de la UNC-Sede Jaén.....	58

<b>Título</b>	<b>Págs</b>
Figura 21. Elevación de pórtico principal del Edificio Principal de la UNC - Sede Jaén.....	67
Figura 22. Elevación de pórtico secundario del Edificio Principal de la UNC - Sede Jaén.....	67
Figura 23. Desplazamiento de esquinas del diafragma rígido.....	68
Figura 24. Selección del modelo.....	70
Figura 25. Datos de las dimensiones de la estructura.....	71
Figura 26. Datos finales de los ejes auxiliares.....	72
Figura 27. Procedimiento para mover los nudos de la zapata.....	72
Figura 28. Asignación de las restricciones de los nudos.....	73
Figura 29. Planta típica, Elevación A - A y Elevación B - B, modelo 3D del Edificio Principal realizado con el programa SAP.....	74
Figura 30. Propiedades del concreto.....	74
Figura 31. Definición de las secciones de las columnas.....	75
Figura 32. Definición de las secciones agrietadas de las columnas.....	75
Figura 33. Asignación de las secciones de las columnas.....	76
Figura 34. Definición de los brazos rígidos de la unión de los nudos de la zapatas con las columnas y de la unión de las vigas principales y columnas.....	76
Figura 35. Asignación de restricciones de los nudos de centros de masas....	77
Figura 36. Creación de los diafragmas rígidos.....	77
Figura 37. Asignación de los diafragmas rígidos.....	78
Figura 38. Introducción de las masas traslacionales y rotacionales.....	78
Figura 39. Definición del análisis modal de la estructura.....	79
Figura 40. Espectro (C' vs T).....	80
Figura 41. Espectro de diseño.....	81
Figura 42. Definición de los casos de carga (Sismo X+).....	82
Figura 43. Definición de las combinaciones de carga (Sismo X+).....	82
Figura 44. Registros sísmicos.....	85
Figura 45. Definición de la función tiempo – historia (Lima 74 E-W).....	86
Figura 46. Definición los casos de cargas tiempo – historia (Lima 74 E-W)..	86
Figura 47. Ubicación de los dispositivos en los pórticos, 1 y 4 (Dirección X-X).....	90

Título	Págs
Figura 48. Ubicación de los dispositivos en los pórticos, A y G (Dirección Y-Y).....	90
Figura 49. Definición de las propiedades de los disipadores.....	96
Figura 50. Selección de los disipadores.....	96
Figura 51. Asignación de las propiedades de los disipadores.....	97
Figura 52. Balance de energía del registro sísmico Lima 1966 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	99
Figura 53. Balance de energía del registro sísmico Lima 1966 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	99
Figura 54. Balance de energía del registro sísmico Chimbote 1970 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	100
Figura 55. Balance de energía del registro sísmico Chimbote 1970 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	100
Figura 56. Balance de energía del registro sísmico Lima 1974 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	101
Figura 57. Balance de energía del registro sísmico Lima 1974 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	101
Figura 58. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1966 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	102
Figura 59. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1966 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	102
Figura 60. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Chimbote 1970 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	103
Figura 61. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Chimbote 1970 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	103
Figura 62. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1974 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	103
Figura 63. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1974 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ ).....	104
Figura 64. Balance de energía del registro sísmico Lima 1966 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	107
Figura 65. Balance de energía del registro sísmico Lima 1966 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	107

Título	Págs
Figura 66. Balance de energía del registro sísmico Chimbote 1970 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	108
Figura 67. Balance de energía del registro sísmico Chimbote 1970 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	108
Figura 68. Balance de energía del registro sísmico Lima 1974 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	109
Figura 69. Balance de energía del registro sísmico Lima 1974 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	109
Figura 70. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1966 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	110
Figura 71. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1966 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	110
Figura 72. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Chimbote 1970 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	110
Figura 73. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Chimbote 1970 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	111
Figura 74. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1974 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	111
Figura 75. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1974 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 0,50$ ).....	111
Figura 76. Comparación del desplazamiento lateral del edificio sin usar disipadores y usando disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X.....	114
Figura 77. Comparación del desplazamiento lateral del edificio sin usar disipadores y usando disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X.....	114
Figura 78. Comparación del desplazamiento lateral del edificio sin usar disipadores y usando disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y.....	114
Figura 79. Comparación del desplazamiento lateral del edificio sin usar disipadores y usando disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y.....	115
Figura 80. Comparación de la deriva del edificio sin usar disipadores y usando disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X.....	116

Título	Págs
Figura 81. Comparación de la deriva del edificio sin usar disipadores y usando disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X.....	116
Figura 82. Comparación de la deriva del edificio sin usar disipadores y usando disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y.....	116
Figura 83. Comparación de la deriva del edificio sin usar disipadores y usando disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y.....	117
Figura 84. Derivas máximas en función del coeficiente de velocidad ( $\alpha$ ).....	117
Figura 85. Fuerza en los disipadores lineales y no lineales (Dirección X-X)...	118
Figura 86. Fuerza en los disipadores lineales y no lineales (Dirección Y-Y)...	118
Figura 87. Ubicación de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B.....	119
Figura 88. Dispositivo Taylor devices inc.- Placa base.....	122
Figura 89. Comparación del porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X entre la investigación realizada y las investigaciones de los antecedentes.....	127

# **LISTA DE ABREVIACIONES**

<b>ASCE:</b>	<b>American Society of Civil Engineers</b>
<b>FEMA:</b>	<b>Federal Emergency Management Agency</b>
<b>MVCS:</b>	<b>Ministerio de Construcción Vivienda y Saneamiento</b>
<b>NEHRP:</b>	<b>National Earthquake Hazard Reduction Program</b>
<b>SEAOC:</b>	<b>Structural Engineers Association of California</b>

# RESUMEN

La investigación se realizó entre los meses de agosto y noviembre del 2014; y tuvo como finalidad dar respuesta al siguiente problema: ¿De qué manera la evaluación de un diseño con disipadores de energía mejora el comportamiento estructural del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, ante un evento sísmico?; y el objetivo fue evaluar si un diseño con disipadores de energía mejora el comportamiento estructural del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, ante un evento sísmico. Para ello se empleó una metodología enfocada en el desempeño y fundamentada en las disposiciones del ASCE y el FEMA. La estructura estudiada correspondió a una edificación aporricada de concreto armado, cuya deriva en la dirección X-X (11,38‰) y en la dirección Y-Y (8,30‰) superaba el límite permitido por la norma E.030 (7,00‰). Para cumplir con este límite se incluyó disipadores de energía fluido viscosos de tipo lineal y no lineal. La estrategia de diseño se orientó en mantener las derivas de ambas direcciones por debajo de 5,80 ‰. Los resultados de los disipadores lineales y no lineales se compararon y se evaluaron, eligiéndose a los disipadores no lineales como la mejor propuesta. Concluyendo así, que con el uso de disipadores no lineales se logra reducir la deriva en la dirección X-X a 5,00‰ y en la dirección Y-Y a 4,57‰; y que el costo del proyecto está alrededor de 620,05 US\$/m<sup>2</sup> y el costo del sistema de amortiguamiento está alrededor de 61,68 US\$/m<sup>2</sup>.

**Palabras claves:**

Evaluación, diseño con disipadores de energía, amortiguamiento, comportamiento estructural, fluido viscoso.

# ABSTRACT

The research was conducted between August and November 2014; and had as purpose to answer to the following problem: How the evaluation of a design with energy dampers improves the structural behavior of the Main Building of the National University of Cajamarca - Headquarters Jaen, before a seismic event?; and the aim was to evaluate whether a design with energy dissipation improves the structural behavior of the Main Building of the National University of Cajamarca - Jaen Headquarters before a seismic event. For this was employed a methodology focused in the performance and based in the provisions of the ASCE and FEMA. The structure studied corresponded to a reinforced concrete apartment building, whose drift in the direction X-X (11,38 ‰) and in the direction Y-Y (8,30 ‰) exceeded the limit allowed by the norm E.030 (7,00 ‰). To comply with this limit was included energy dampers viscous fluid of the type linear and nonlinear. The design strategy was oriented at maintaining the drifts of both directions below 5,80‰. The results of the dampers linear and nonlinear were compared and were evaluated, being chosen the dampers nonlinear as the best proposal. Concluding thus, that with the using of dampers nonlinear is achieved reduce the drift in the direction X-X to 5,00‰ and in the direction Y-Y to 4,57‰; and that the cost of project this around 620,05 US\$/m<sup>2</sup>, and the cost of system damping this around 61,68 US\$/m<sup>2</sup>.

**Key words:**

Assessment, design with energy damper, damping, structural behavior, viscous fluid.

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El Perú, es uno de los países de mayor actividad sísmica en el mundo, debido a que se ubica en la llamada zona del Cinturón de Fuego del Pacífico, por ello, nuestras edificaciones están expuestas cotidianamente a la acción sísmica, y por consiguiente se diseñan edificaciones para que resistan a este tipo de solicitaciones. Pero los últimos sismos ocurridos han dejado de manifiesto que existe una alta vulnerabilidad sísmica en las edificaciones, debido a la ineficiente práctica constructiva y las limitaciones que presenta el diseño sismorresistente convencional.

El diseño sismorresistente convencional está basado en la capacidad que tiene la propia estructura de disipar la energía introducida por el sismo a través de una combinación de las propiedades conocidas como ductilidad, resistencia y rigidez. Pero en las edificaciones esenciales estas características de diseño convencional resultan inapropiadas, ya que se requiere que la estructura funcione luego de ocurrido el evento sísmico. Por ello, en las últimas décadas se han desarrollado nuevas tecnologías que mejoran el comportamiento estructural de una edificación ante un evento sísmico y mitigan el daño. Entre estas tecnologías tenemos a los disipadores de energía; los cuales no solo se usan en edificaciones nuevas, sino también en el reforzamiento de edificaciones existentes.

La ciudad de Jaén debido a que se ubica en la zona 3, es considerada una zona de alta actividad sísmica, en donde sus edificaciones esenciales deben continuar operando después de ocurrido un evento sísmico. El Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén es una edificación esencial, que también debe cumplir con este requisito, pero debido a sus características es vulnerable a sufrir graves daños durante la ocurrencia

de un sismo, por ello es fundamental realizar un reforzamiento estructural que permita mitigar esta vulnerabilidad sísmica.

En consecuencia, este trabajo de investigación nace ante la siguiente pregunta: ¿De qué manera la evaluación de un diseño con disipadores de energía mejora el comportamiento estructural del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, ante un evento sísmico?; y con el fin de responder a esta pregunta se formuló la siguiente hipótesis: Un diseño con disipadores de energía mejora sustancialmente el comportamiento estructural del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, ante un evento sísmico.

La presente investigación tiene como finalidad proponer una estrategia para mitigar la vulnerabilidad sísmica que existe en el Edificio Principal de la Sede Jaén, mediante el uso de disipadores de energía; y proponer una guía para futuras investigaciones relacionadas al tema.

Esta investigación se desarrolló entre los meses de agosto y noviembre del 2014; y está enfocada a la evaluación del diseño con disipadores de energía del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca, dicho edificio posee un sistema estructural aporticado de concreto armado, tiene 3 pisos y está ubicado en la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca. Para realizar esta evaluación se ha usado una metodología orientada en el desempeño y fundamentada en las disposiciones del ASCE (American Society of Civil Engineers) del año 2010 y del FEMA (Federal Emergency Management Agency) del año 2000. En cuanto a la modelación estructural se utilizó el programa SAP 2000 V.15, empleando la información recolectada de la guía de observación, el ensayo del esclerómetro y los planos.

Para esta investigación se planteó el siguiente objetivo general: Evaluar si un diseño con disipadores de energía mejora el comportamiento estructural del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, ante un evento sísmico; para alcanzar este objetivo general se estableció los siguientes objetivos específicos: Analizar el comportamiento estructural del

Edificio Principal ante un evento sísmico, sin utilizar disipadores de energía y utilizando disipadores de energía; comparar las fuerzas cortantes máximas y los momentos máximos de las columnas obtenidos del análisis del Edificio Principal sin disipadores de energía y del análisis con disipadores de energía y; determinar el costo de la edificación con un sistema de disipación de energía y el costo del sistema de disipación de energía.

Este trabajo de investigación que se presenta esta organizado de la siguiente manera:

- a) El capítulo I, está referido a la introducción. En esta se describe al planteamiento y a la formulación del problema, a la hipótesis, a la justificación, a los alcances, y a los objetivos de la investigación.
- b) El capítulo II, está referido al marco teórico. En este se describe a los antecedentes teóricos de la investigación, se exponen las bases teóricas y se define los términos básicos usados en esta investigación.
- c) El capítulo III, describe a los materiales y métodos. Para ello se detalla el procedimiento seguido para la realización de la investigación; se indica el tratamiento que se utilizó en los datos, el tipo de análisis que se realizó y se presenta los resultados.
- d) El capítulo IV, presenta el análisis y discusión de resultados.
- e) El capítulo V, presenta a las conclusiones y las recomendaciones.
- f) Las referencias bibliografías y anexos. En los anexos se presenta a la guía de observación, al ensayo del esclerómetro, al panel fotográfico y los planos de la edificación.

# **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Antecedentes teóricos**

### **2.1.1 Internacionales**

Pardo (2007) señala en su investigación que debido a la gran vulnerabilidad sísmica de Chile, se han desarrollado conceptos tecnológicos innovadores, como los dispositivos disipadores de energía de fluido viscoso; que protegen mejor a las estructuras y a sus ocupantes, de los perjudiciales efectos durante la ocurrencia de un sismo.

Por ello en este trabajo de investigación se estudió a un edificio de hormigón armado de 5 pisos, el cual posee la particularidad de ser flexible en su sentido longitudinal, por lo que las deformaciones de entrepiso debido a una acción sísmica sobrepasan alrededor del 50% de lo permitido por la normativa. Como opción para controlar las distorsiones de entrepiso se consideró el uso de dispositivos disipadores de energía de fluido viscoso de tipo lineal. Obteniéndose que con el uso de los disipadores de energía se disminuye los desplazamientos, la velocidad, y la aceleración de los centros de masa de cada piso, y además se logra una baja en los momentos y en la cortante.

### **2.1.2 Nacionales**

Oviedo (2008) indica que los recientes terremotos han demostrado que los edificios diseñados y construidos de acuerdo a los códigos más recientes proveen de una buena respuesta, pero el costo de reparación de daños y el tiempo necesario para implementar estas reparaciones son grandes. Debido a ello se han desarrollado técnicas innovadoras para mejorar el desempeño

sísmico de los edificios, tales como: los dispositivos pasivos de disipación de energía, y el control estructural activo o híbrido.

En esta investigación se estudió sólo a los dispositivos pasivos de disipación de energía, tales como los disipadores viscosos, los disipadores viscoelásticos, los disipadores de fricción y los disipadores de fluencia (metálicos). Para ello se realizó un diseño de un edificio esencial de concreto armado de 10 niveles y un sótano, con los disipadores no lineales.

Obteniéndose que con los dispositivos pasivos de disipación de energía se puede reducir la fuerza actuante en el edificio, los desplazamientos, las velocidades y las aceleraciones de los entrepisos. También se determinó que los disipadores por fluencia y viscosos se comportan mejor en estructuras flexibles y los disipadores viscoelásticos y por fluencia en estructuras más rígidas.

Además se llegó a la conclusión que el mejor disipador es el disipador de fluencia, por su secuencia lógica de desplazamientos ( $X_{max} > Y_{max}$ ); y porque los valores máximos de la cortante, el momento y el momento torsor disminuyeron.

Guevara y Torres (2012) en este estudio diseñaron un edificio aporticado, de 7 niveles con disipadores de fluido viscoso en disposición diagonal. Consideraron para ello un diseño basado en el desempeño y como objetivo de diseño se eligió un sismo raro con reducción del daño a nivel moderado y consideraron una deriva objetivo de 5,80 %.

Para este diseño se usó disipadores lineales ( $\alpha = 1$ ) y no lineales ( $\alpha = 0,50$ ). Obteniéndose que el porcentaje de reducción de derivas de entrepiso es ligeramente mayor en los amortiguadores no lineales, que las fuerzas que se presentan en los dispositivos no lineales son menores a las que se presentan en los dispositivos lineales y que la participación en la disipación de energía en los dispositivos lineales es 79% y en los no lineales es 80%.

Una vez analizados los resultados se observó que bajo las mismas condiciones, un sistema no lineal trabaja más eficientemente. Por ello se propuso un diseño con disipadores no lineales, en el cual se consideró 4 dispositivos por nivel, generando así una cantidad total de 28 dispositivos y resultando que este diseño incrementa el amortiguamiento en un 23%. Además se realizó una evaluación económica basada en ratios y precios propuestos por el fabricante, los cuales indican que el costo del sistema de amortiguamiento de fluido viscoso en esta estructura y para este nivel de desempeño, está alrededor de los 30,10 US\$/m<sup>2</sup> y la incidencia del sistema de amortiguamiento fluido viscoso en el costo total del proyecto bordea el 6,92%.

Cano y Zumaeta (2012) en esta investigación diseñaron una edificación aporticada de 3 niveles con disipadores de energía no lineales del fluido viscoso y viscoelástico, consideraron para ello un diseño basado en el desempeño. Como objetivo de diseño se eligió un sismo raro con reducción del daño a nivel moderado y consideraron una deriva objetivo de 5,80 %.

Llegando a la conclusión que un diseño utilizando disipadores fluido viscosos incrementa el amortiguamiento en un 30% y utilizando disipadores viscoelástico incrementa el amortiguamiento en un 25%. También se puede notar en el balance de energía que los disipadores viscosos disipan la energía en un 84,50% y los disipadores viscoelásticos en un 83%, verificando así que el uso de los disipadores incrementa la capacidad de disipación de energía ante la presencia de un sismo. Además se puede determinar que con el uso de los disipadores viscosos se reducen los desplazamientos de entrepisos en un rango de 60 a 67% y con los disipadores viscoelásticos en un rango de 53 a 59%.

Asimismo se comprobó que el uso de disipadores no genera ningún efecto en la rigidez de la estructura por lo cual el periodo de la estructura se mantiene casi intacto. También se determinó que el costo del sistema de amortiguamiento fluido viscoso en esta estructura y para este nivel de desempeño, está alrededor de los 40,00 US\$/m<sup>2</sup> y la incidencia del sistema de

disipación de energía fluido viscoso en el costo total del proyecto bordea el 8,97%.

Morales y Contreras (2012) señalan que en la actualidad existen dispositivos de disipación de energía que son empleados para el reforzamiento de edificios esenciales. Por ello proponen la protección sísmica del Pabellón B de la Pontificia Universidad Católica del Perú, empleando disipadores fluido viscosos, esta edificación tiene 4 pisos, y su sistema estructural está compuesto en el sentido longitudinal por pórticos de vigas y columnas de concreto armado y en el sentido transversal por muros de albañilería. Para el sentido longitudinal se propone un reforzamiento con disipadores fluido - viscosos y para el sentido transversal un reforzamiento con arriostres metálicos.

Consideraron para el reforzamiento con disipadores un diseño enfocado en el desempeño y eligieron como objetivos de diseño un sismo raro con reducción del daño a nivel moderado, con una deriva objetivo de 5‰.

Luego de realizar el análisis de la estructura reforzada con disipadores fluido viscoso lineales se obtuvo una deriva máxima de 4‰ y se logró un amortiguamiento efectivo de 25%. Para el refuerzo con los arriostres metálicos se obtuvo una deriva de 3‰. Además se determinó que el costo de los dispositivos de disipación de energía para esta estructura es de US\$96,000.00, dicho costo no incluye reforzamiento localizado, los elementos de fijación y los elementos transferencia de cargas.

Boza y Galán (2013) en esta investigación proponen el diseño de un edificio aporticado de 7 pisos con disipadores de energía fluido viscoso en arreglo Chevron. Consideraron para ello un diseño basado en el desempeño y como objetivo de diseño se eligió un sismo raro con reducción del daño a nivel moderado y consideraron una deriva objetivo de 5,55 ‰.

Para este diseño se usó disipadores lineales ( $\alpha = 1$ ) y no lineales ( $\alpha = 0,25$ ;  $0,50$ ;  $0,75$ ). Obteniéndose que en todos los casos se logró reducir la deriva de  $0,92\%$  a  $0,59\%$ , y concluyendo que para los amortiguadores no lineales ( $\alpha = 0,25$ ) se logra menores fuerzas tanto en los disipadores como en las columnas adyacentes a estos dispositivos. Por ello se eligió como mejor alternativa de diseño a los amortiguadores no lineales ( $\alpha = 0,25$ ) y se consideró un total de 56 amortiguadores para la edificación.

### **2.1.3 Locales**

Urrunaga (2013) en su investigación propone el diseño del edificio 4J de la Universidad Nacional de Cajamarca empleando disipadores de energía del tipo fluido viscoso, ya que la deriva ( $8,15\%$ ) del edificio sin reforzamiento superaba el límite permitido por la norma NTE E-030 ( $7\%$ ). Se consideró para ello un diseño basado en el desempeño y como objetivo de diseño se eligió un sismo raro con reducción del daño a nivel moderado y se adoptó una deriva objetivo de  $5,80\%$ .

Para este diseño se usó disipadores lineales ( $\alpha = 1$ ) y no lineales ( $\alpha = 0,50$ ). Obteniéndose que la disipación promedio para los disipadores lineales es  $79\%$  y los no lineales  $80\%$ , y concluyendo que para los amortiguadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) se logra menores fuerza cortante y momento flector máximos en las columnas.

Por ello se eligió como mejor alternativa de diseño a los disipadores fluido viscoso no lineales ( $\alpha = 0,50$ ), los cuales incrementan el amortiguamiento en un  $23\%$ . Además se determinó que el costo del sistema de amortiguamiento fluido-viscoso, está alrededor de los  $30\text{ US\$/m}^2$  y que la incidencia del sistema de disipación fluido viscoso en el costo total del proyecto bordea el  $8,49\%$ .

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Diseño sismorresistente convencional**

El diseño sismorresistente convencional está basado en la capacidad de crear estructuras lo suficientemente rígidas y resistentes; con la capacidad de deformarse para incursionar en el rango inelástico, tomando como condición su ductilidad.

Para pequeñas demandas sísmicas, se espera que la estructura tenga un comportamiento elástico y para un sismo muy raro un comportamiento inelástico. Este enfoque ha llevado a que los ingenieros diseñen edificios con suficiente ductilidad para prevenir fallas catastróficas, aceptándose un determinado nivel de daño estructural y no estructural.

Pero en las estructuras esenciales (hospitales, cuarteles de bomberos, centros educativos, universidades, etc.) estas características de diseño convencional resultan inapropiadas, ya que se requiere que la estructura funcione luego de ocurrido el evento sísmico. Por ello, para estos casos tradicionalmente se pretende mejorar el comportamiento estructural y el control de daño en las edificaciones ante un evento sísmico, diseñándola con suficiente resistencia para que la acción inelástica sea prevenida o sea mínima; lo que puede llegar a ser bastante costoso (Villareal y Oviedo 2008).

La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006), está basada en el diseño sismorresistente convencional. Dicha Norma considera como objetivo principal mantener las derivas de la estructura por debajo de un límite máximo, lo que se logra incrementando la rigidez. Pero este incremento causa daño no estructural en la edificación.

## 2.2.2 Diseño sismorresistente con sistemas de protección sísmica

Otra forma de hacer frente a las amenazas sísmicas a las que se ven sometidas las edificaciones, consiste en realizar un diseño sismorresistente con sistemas de protección sísmica. Estos dispositivos se anexan a la estructura con el objetivo de reducir la respuesta dinámica de la estructura, es decir, disminuir el desplazamiento, la velocidad y la aceleración que se puede experimentar durante un evento sísmico (Villarreal y Oviedo 2008).

Es así, que a través de la utilización de los sistemas de protección sísmica se consigue una mejora considerable en el comportamiento sísmico de las estructuras. Esto se traduce en una reducción de los daños en los elementos estructurales, no estructurales y en los contenidos de las edificaciones. Una consecuencia directa de esto último es el aumento de la posibilidad de utilizar los recintos protegidos sísmicamente durante e inmediatamente después de los eventos sísmicos severos (CDT 2010).

En terremotos ocurridos se ha comprobado la eficiencia de los sistemas de protección sísmica, ya que se observó que las edificaciones que poseían estos sistemas de protección sísmica se comportaron de forma excelente, estas edificaciones quedaron en pie, mientras que edificaciones sin sistemas de protección o edificaciones reforzadas tradicionalmente colapsaron (CDT 2010).

## 2.2.3 Balance energético de estructuras

La ecuación del balance de energía de un sistema estructural sometido a un movimiento sísmico es (Villarreal y Oviedo 2008):

$$E = E_k + E_s + E_h + E_d \quad (1)$$

**Donde:**

$E$  : Energía de entrada del movimiento sísmico (Joule).

$E_k$  : Energía cinética (Joule).

$E_s$  : Energía de deformación elástica (Joule).

$E_h$  : Energía por deformación inelasticidad o ductilidad (Joule).

$E_d$  : Energía de amortiguamiento (Joule).

Para que el sistema estructural soporte el movimiento sísmico; la energía de entrada ( $E$ ), debe ser absorbida por la sumatoria de la energía cinética ( $E_k$ ), la energía de deformación elástica ( $E_s$ ), la energía por deformación inelasticidad o ductibilidad ( $E_h$ ) y la energía de amortiguamiento ( $E_d$ ). Es decir la capacidad de la estructura debe ser mayor que la demanda sísmica (Villarreal y Oviedo 2008).

Para lograr un diseño sismorresistente adecuado es necesario que una parte de la energía de entrada ( $E$ ), sea absorbida y esto se puede lograr (Villarreal y Oviedo 2008):

- a) Aumentando la ductilidad y la rigidez del sistema estructural con el fin de agregar energía por deformación inelástica. Esta opción se logra por medio del diseño sismorresistente convencional, que consiste en la combinación de las propiedades conocidas como resistencia, rigidez y en la capacidad que tiene la estructura de disipar la energía introducida por el sismo en el rango inelástico, tomando como condición su ductilidad, este diseño permite evitar fallas catastróficas aunque se acepta un cierto grado de daño en la estructura, y se llega a evitar el colapso.
- b) Aumentando la energía de amortiguamiento, agregando dispositivos de disipación pasiva de energía; con el fin de absorber o consumir una porción importante de la energía sísmica, reduciendo así las demandas de disipación de energía por ductilidad en los miembros estructurales principales y minimizando así su posible daño estructural. Esta opción se logra por medio del diseño sismorresistente con sistemas de protección sísmica.

## 2.2.4 Sistemas de protección sísmica

Los sistemas de protección sísmica tienen como objetivo controlar la respuesta estructural a fin de disminuir los efectos que las cargas dinámicas ejercen sobre las estructuras, garantizando así, comportamientos adecuados en resistencia, rigidez y ductibilidad. En la Fig 1 se puede apreciar la clasificación de los sistemas de protección sísmica (Villarreal y Oviedo 2008):

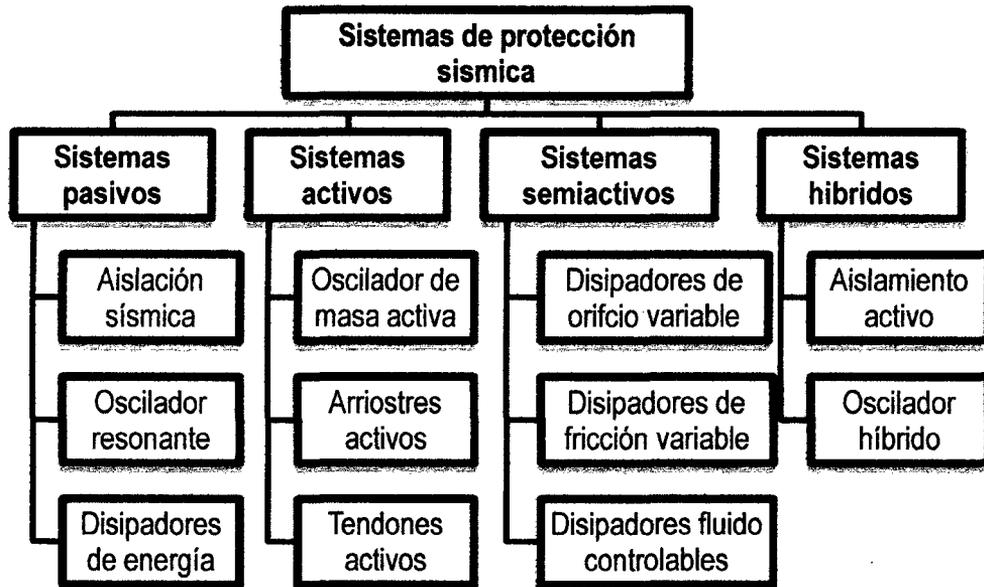


Figura 1. Clasificación de los sistemas de protección sísmica

Fuente: Villarreal y Oviedo 2008

## 2.2.5 Sistemas pasivos de disipación de energía

Los sistemas pasivos de disipación de energía se basan en elementos que responden de forma inercial a la acción sísmica y no precisan de aporte energético para su funcionamiento. Son sistemas que intervienen alterando las propiedades dinámicas del edificio, provocando una reducción de la respuesta estructural. En la Fig 3 se puede apreciar la clasificación de los sistemas pasivos de disipación de energía (Villarreal y Oviedo 2008).

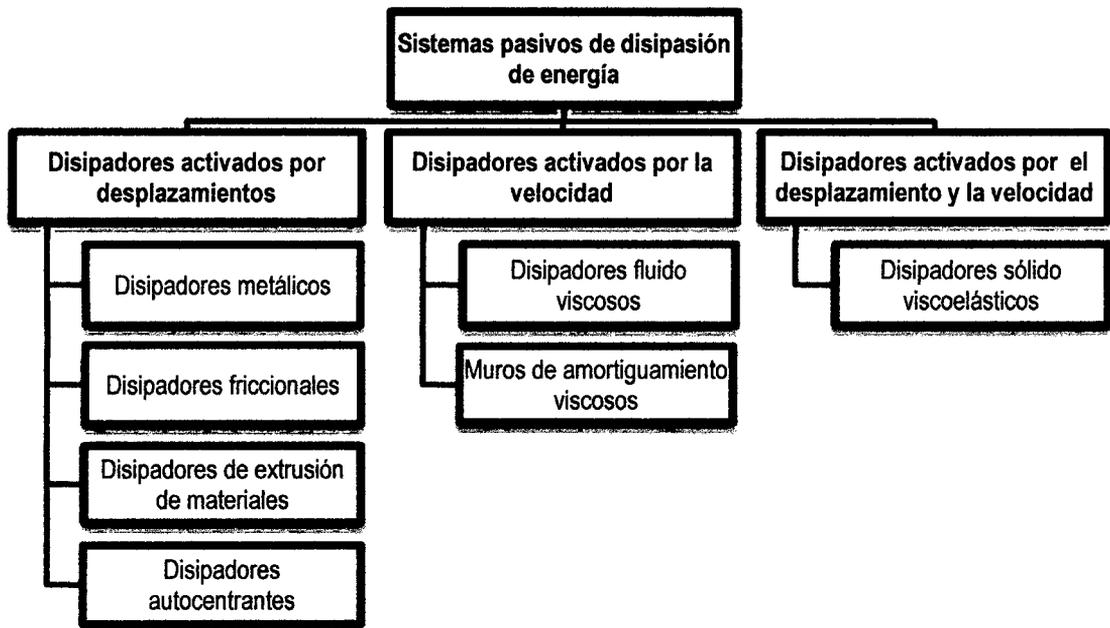


Figura 2. Clasificación de los sistemas pasivos de disipación de energía

Fuente: Villarreal y Oviedo 2008

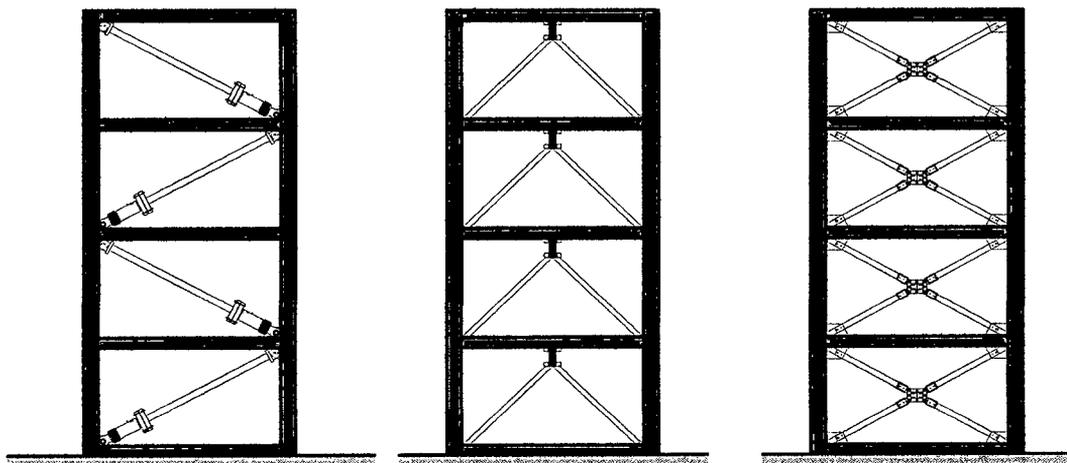


Figura 3. Esquema de una estructura con sistema pasivo de protección sísmica

Fuente: Villarreal y Oviedo 2008

### 2.2.6 Modelo del sistema de amortiguamiento

Al introducir disipadores de energía a una edificación, éste se divide en dos sistemas interdependientes: el sistema estructural, compuesto por los elementos de concreto armado o acero que componen la estructura, y el sistema de amortiguamiento, compuesto por los amortiguadores y elementos de concreto o acero que estén conectados directamente a ellos. A continuación

se expondrá la ecuación del movimiento de una estructura con un sistema de amortiguación de un grado de libertad (Cheng et al. 2008).

**a) Ecuación del movimiento de una estructura con un sistema de amortiguamiento de un grado de libertad**

La rigidez axial del sistema es gobernada por la rigidez del elemento que contiene el disipador, llamado brazo metálico. La rigidez de este brazo es mucho mayor que la del dispositivo de amortiguamiento. Por esa razón, los brazos pueden ser asumidos como elementos infinitamente rígidos (Cheng et al. 2008).

Esta suposición y las condiciones de equilibrio nos permiten definir la ecuación movimiento de la estructura con un sistema de amortiguación de un grado de libertad, la cual se presenta a continuación (Cheng et al. 2008):

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + D + Q = -m\ddot{x}_g \quad (2)$$

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + P\cos\emptyset + Q = -m\ddot{x}_g \quad (3)$$

**Donde:**

$m$  : Masa de la estructura, concentrada a nivel del techo.

$C$  : Coeficiente de amortiguamiento.

$Q$  : Expresión general que considera el comportamiento no lineal de la fuerza estructural.

$P$  : Fuerza definida a lo largo del movimiento del sistema de disipación.

$D$  : Componente horizontal de la fuerza.

$\emptyset$  : Ángulo que depende de la configuración del sistema de disipación y sus refuerzos.

$x(t)$  : Desplazamiento de entrepiso.

$\dot{x}$  : Velocidad estructural.

$\ddot{x} - \ddot{x}_g$  : Aceleración estructural y aceleración del suelo.

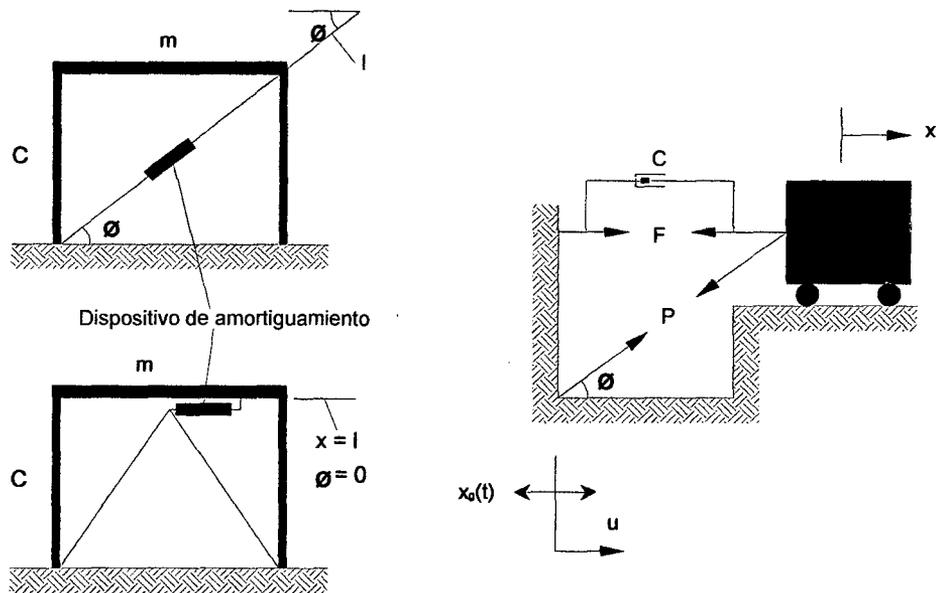


Figura 4. Estructuras de un grado de libertad con dispositivos de amortiguamiento, en disposición diagonal y Chevron.

Fuente: Cheng et al. 2008

Esta ecuación representa de manera general el comportamiento de una estructura con dispositivos de amortiguamiento sometida a una fuerza sísmica (Cheng et al. 2008).

Finalmente cabe destacar que la expresión que representa la fuerza en el dispositivo de amortiguamiento ( $P$ ) es única para cada tipo de disipador; debido a que cada uno presenta propiedades y características distintas (Cheng et al. 2008).

## 2.2.7 Requisitos del ASCE (American Society of Civil Engineers) para diseño sísmico con sistemas pasivos de disipación de energía

### a) Procedimientos de análisis

Existen cuatro procedimientos para el análisis de estructuras con sistema de disipación de energía, estos son:

- 1) Análisis de respuesta espectral.
- 2) Análisis de fuerza lateral equivalente.
- 3) Análisis no lineal estático o análisis Pushover.
- 4) Análisis no lineal de respuesta tiempo - historia.

Los procedimientos recomendados para estructuras con sistemas de Amortiguamiento son en general los métodos no lineales. Los procedimientos de respuesta espectral y fuerza lateral equivalente pueden usarse siempre y cuando el edificio sea modelado linealmente y bajo ciertas restricciones (ASCE 2010).

## **b) Requisitos generales de diseño**

El diseño de la estructura debe considerar los requisitos básicos para el sistema resistente a fuerzas sísmicas y el sistema de amortiguación (ASCE 2010).

### **i) Sistema resistente a fuerzas sísmicas**

Las estructuras que contienen un sistema de amortiguación están obligadas a tener un sistema que resiste fuerzas sísmicas en cada dirección, y se ajustará a lo siguiente (ASCE 2010):

- 1) El cortante basal sísmico utilizado para el diseño del sistema resistente a fuerzas sísmicas no podrá ser inferior a  $V_{min}$ , donde  $V_{min}$  se determina como el mayor de los valores calculados utilizando las ecuaciones las siguientes:

$$V_{min} = \frac{V}{B_{V+I}} \quad (4)$$

$$V_{min} = 0,75V \quad (5)$$

**Donde:**

$V$  : Cortante basal sísmica en la dirección de interés.

$B_{V+I}$  : Coeficiente numérico para la amortiguación efectiva que igual a la suma de amortiguamiento viscoso y amortiguación inherente (Tabla 1).

**Excepción:** La cortante basal sísmica utilizada para el diseño del sistema resistente a fuerzas sísmicas no podrá tomarse como menos de 1,0 V; si cualquiera de las condiciones siguientes:

- (1) En la dirección de interés, el sistema de amortiguación tiene al menos dos dispositivos de amortiguación en cada nivel del suelo, configurados para resistir la torsión.
  - (2) El sistema resistente a fuerzas sísmicas tiene horizontal irregularidad tipo 1b (Irregularidad torsional extrema) o vertical irregularidad tipo 1b (Irregularidad de Rigidez-Blanda Extrema Historia).
- 2) Los requisitos mínimos de la fuerza para los elementos del sistema resistente a fuerzas sísmicas que son también elementos del sistema de amortiguación o están de otra manera obligados a resistir las fuerzas de dispositivos de amortiguación deberán cumplir con los requisitos adicionales sistema resistente a fuerzas sísmicas (ASCE 2010).

**ii) Sistema de amortiguación**

Los elementos del sistema de amortiguación serán diseñados para permanecer elásticos para cargas de diseño, incluyendo las fuerzas sísmicas no reducidas de dispositivos de amortiguación, salvo que se demuestre mediante un análisis o prueba de que la respuesta inelástica de elementos no afectaría negativamente a la función del sistema de amortiguación (ASCE 2010).

**c) Modificación de la respuesta de amortiguamiento**

**i) Coeficiente de amortiguamiento**

Cuando el período de la estructura es mayor o igual a  $T_0$ , el coeficiente de amortiguamiento, será el establecido en la Tabla 1. Cuando el período de la estructura es menor que  $T_0$ , el coeficiente de amortiguamiento se interpola linealmente entre un valor de cero a un segundo (ASCE 2010).

Tabla 1. Coeficiente de amortiguamiento,  $B_{V+I}$ ,  $B_{1D}$ ,  $B_R$ ,  $B_{1M}$ ,  $B_{mD}$ ,  $B_{mM}$   
(Cuando el periodo de la estructura  $\geq T_0$ )

Amortiguamiento Efectivo, $\beta$ (Porcentaje critico)	Coeficiente de amortiguamiento $B_{V+I}$ , $B_{1D}$ , $B_R$ , $B_{1M}$ , $B_{mD}$ , $B_{mM}$ (Cuando el periodo de la estructura $\geq T_0$ )
$\leq 2$	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,8
40	2,1
50	2,4
60	2,7
70	3,0
80	3,3
90	3,6
$\geq 100$	4,0

Fuente: ASCE 2010

## 2.2.8 Disipadores de energía fluido viscoso

### a) Definición

Los disipadores de energía fluido viscoso son dispositivos que disipan energía por la aplicación de una fuerza resistiva debido a un desplazamiento provisto por la acción de un pistón forzado a través de un cilindro con fluido (Taylor 2013).

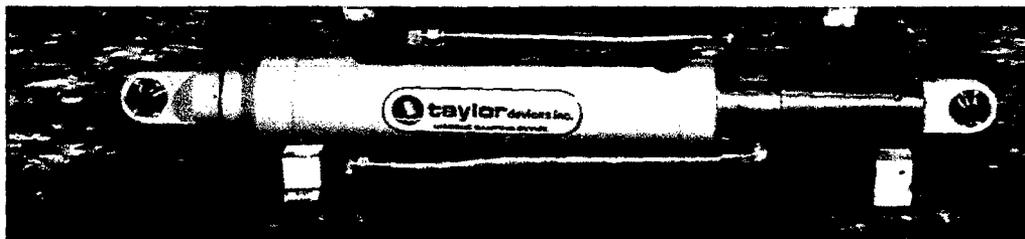


Figura 5. Disipador de energía fluido viscoso Taylor devices inc.

Fuente: Burgos 2014

## b) Esquema del dispositivo

Se componen de un cilindro lleno de un líquido con base de silicona y un pistón interior que se desliza. Esta silicona es un fluido que es resistente al fuego, no tóxico, térmicamente estable, y que no se degradan con el tiempo.

La disipación de energía se realiza en convertir la energía introducida por el sismo en la estructura en energía térmica. Por medio de la movilización de un líquido viscoso. A medida que el pistón se desliza, el líquido es forzado a fluir a través de orificios alrededor del pistón. El fluido circula a altas velocidades, por lo que ejerce una elevada fricción entre las partículas del fluido y el pistón y se produce la disipación de energía en forma de calor. La Fig 6 muestra las partes de un disipador de energía fluido viscoso (Taylor 2013).

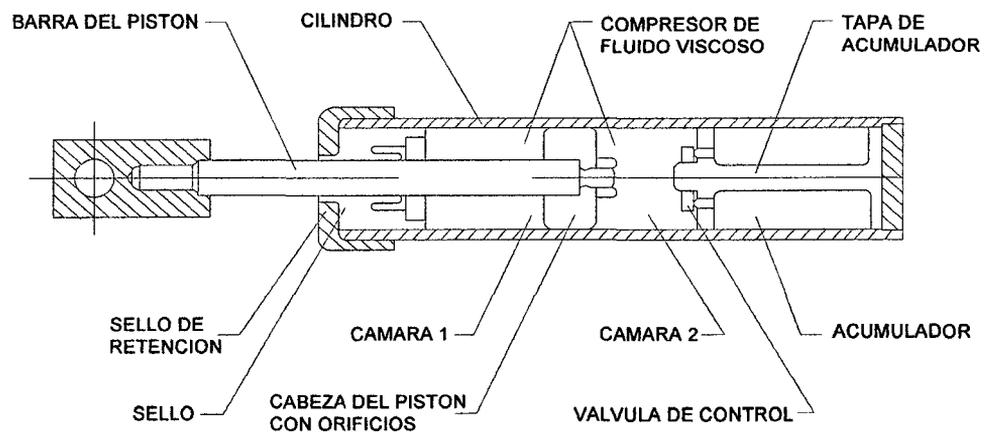


Figura 6. Partes de un disipador de energía fluido viscoso

Fuente: Taylor 2013

Los disipadores de fluido viscoso se activan con desplazamientos mínimos, y sus propiedades son de gran medida independientes de la frecuencia y la temperatura (Taylor 2013).

Las propiedades del dispositivo son especificadas por el proyectista, pero estas deberán ser desarrolladas por el fabricante mediante variaciones en la construcción mecánica y las propiedades de los

orificios. Estos detalles determinarán además si es un amortiguador lineal o no lineal (Taylor 2013).

A continuación se presenta en la Fig 7 un esquema general de un disipador de energía fluido viscoso.

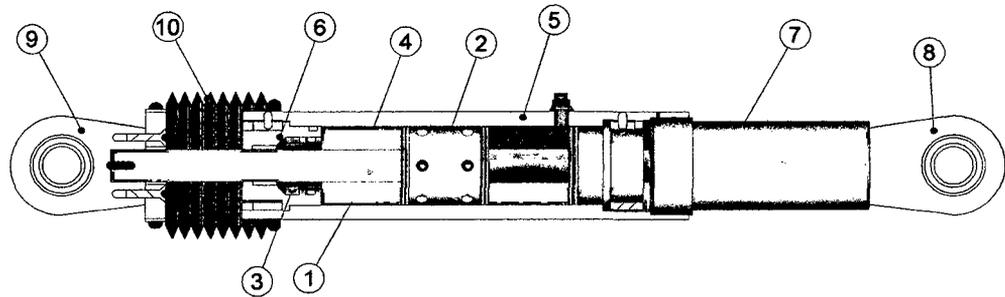


Figura 7. Esquema general de un disipador de energía fluido viscoso Taylor devices inc.

Fuente: Taylor 2013

**Donde:**

- 1) Vástago de acero inoxidable.
- 2) Cabeza del pistón de acero sólido o de bronce.
- 3) Sellos / rodamientos de sello, juntas dinámicas.
- 4) Fluido viscoso, silicona incompresible.
- 5) Cilindro con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas y/o pintura.
- 6) Tapa con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas y/o pintura.
- 7) Extender, acero al carbono forjado en aluminio con protección contra la corrosión.
- 8) Horquilla final con tratamiento térmico de aleaciones de acero con protección contra la corrosión.
- 9) Cojinete esférico forjado con aleación de acero de calidad aeronáutica.
- 10) Fuelle, nylon reforzado de inicio de neopreno (Taylor 2013).

### c) Comportamiento de los disipadores fluido viscoso

Los disipadores de fluido viscoso tienen la propiedad de reducir simultáneamente los esfuerzos y las deflexiones de la estructura. Esto se da porque la fuerza del disipador presenta un comportamiento fuera de fase con los esfuerzos debido a la flexibilidad de la estructura (CDV 2014).

Esto comportamiento solo se cumple en los disipadores fluido viscosos, donde la fuerza del disipador varía con la velocidad. Cuando la estructura alcanza su máximo desplazamiento, su velocidad es cero; por lo tanto, la fuerza en el disipador también es cero y cuando el desplazamiento de la estructura es mínimo, la fuerza en el disipador es máxima. En la Fig 8, se puede ver el comportamiento fuera de fase de los disipadores (CDV 2014).

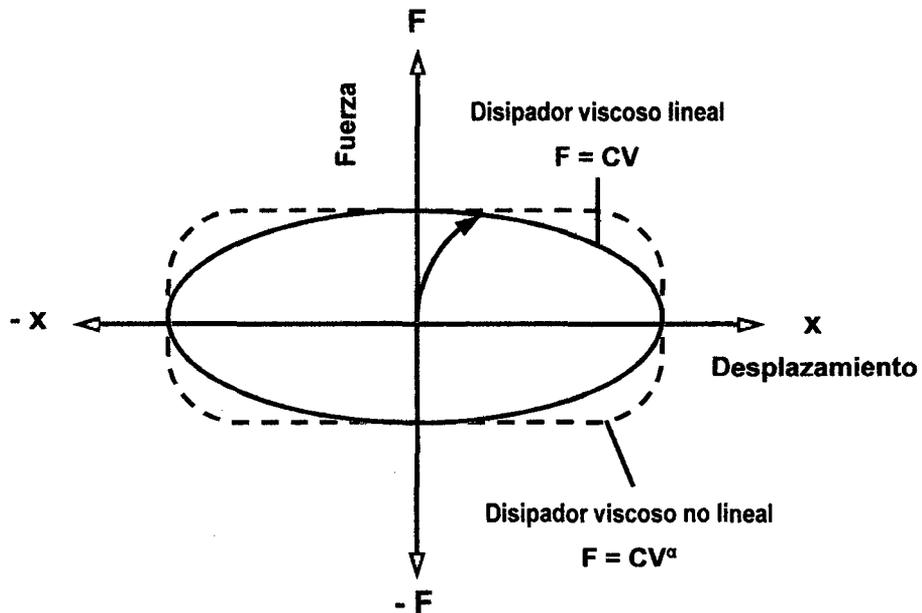


Figura 8. Comportamiento fuera de fase de los disipadores fluido viscoso  
Fuente: Cheng et al. 2008

### d) Ecuación general de los disipadores fluido viscoso

La ecuación general de estos dispositivos es la siguiente (CDV 2014):

$$F = C V^\alpha \quad (6)$$

**Donde:**

F : Fuerza de amortiguamiento del dispositivo (t).

C : Coeficiente de amortiguamiento del dispositivo (t.s/m).

V : Velocidad relativa entre los extremos del amortiguador (m/s).

$\alpha$  : Exponente de velocidad que varía entre 0,4 y 0,6 para edificaciones.

Cuando el exponente de velocidad ( $\alpha$ ) toma el valor de 1, se tendrá un dispositivo con una fuerza lineal proporcional a la velocidad, por lo que se le denominará “Disipador viscoso lineal”; y cuando el exponente de velocidad ( $\alpha$ ) toma un valor distinto de 1, al dispositivo se le denominará “Disipador viscoso no lineal” (CDV 2014).

**e) Reducción de la respuesta sísmica, amortiguamiento efectivo y amortiguamiento viscoso objetivo**

**i) Reducción de la respuesta sísmica “B”**

El factor de reducción de respuesta sísmica (B) se obtiene dividiendo la deriva máxima obtenida del análisis del edificio sin disipadores ( $D_{max}$ ) entre la deriva de diseño ( $D_{objetivo}$ ), mediante la siguiente relación (WCEE 2004):

$$B = \frac{D_{max}}{D_{objetivo}} \quad (7)$$

**ii) Amortiguamiento efectivo “ $\beta_{eff}$ ”**

El amortiguamiento efectivo de la estructura ( $\beta_{eff}$ ), se determinará mediante la siguiente relación (FEMA 2003):

$$B = \frac{2,31-0,41\ln(5)}{2,31-0,41\ln(\beta_{eff})} \quad (8)$$

Despejando el valor de ( $\beta_{eff}$ ) tenemos la siguiente relación:

$$\beta_{eff} = e^{\left[ \frac{2,31}{0,41} \left( \frac{B-1}{B} \right) + \frac{\ln(5)}{B} \right]} \quad (9)$$

### iii) Amortiguamiento viscoso objetivo “ $B_{visc.}$ ”

El amortiguamiento viscoso objetivo ( $B_{visc.}$ ) se obtiene de la diferencia del amortiguamiento efectivo de la estructura ( $\beta_{eff}$ ) y del amortiguamiento inherente de la estructura, ( $\beta_0$ ), como se puede apreciar en la siguiente fórmula (FEMA 2000):

$$B_{visc.} = \beta_{eff} - \beta_0 \quad (10)$$

Para edificios de concreto armado el amortiguamiento inherente de la estructura es 5%.

## f) Propiedades del amortiguador

### i) Coeficiente de amortiguamiento “C”

Este coeficiente está relacionado con las propiedades del fluido que se encuentra dentro del dispositivo de disipación de energía. El cálculo de este coeficiente parte de una estimación que depende directamente del tipo de disipador a utilizar (lineal o no lineal) y del amortiguamiento viscoso objetivo. A continuación se exponen dichas expresiones (FEMA 2000):

#### 1) Para amortiguadores lineales

El coeficiente de amortiguamiento “C” para dispositivos lineales puede estimarse mediante la siguiente ecuación (FEMA 2000):

$$B_{visc.} = \frac{T \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (11)$$

**Donde:**

$B_{visc.}$  : Amortiguamiento viscoso objetivo (%).

T : Período fundamental de la estructura (s).

C : Coeficiente de amortiguamiento del disipador (t.s/m).

$\phi_i$  : Desplazamiento del modo de vibración del periodo fundamental en el nivel i.

$\phi_{rj}$  : Desplazamiento relativo del modo de vibración del periodo fundamental.

$\theta_j$  : Ángulo de inclinación del disipador j (°).

$m_i$  : Masa del nivel i (t.s<sup>2</sup>/m).

Esta fórmula considera un coeficiente de amortiguamiento constante para todos los dispositivos (FEMA 2000).

## 2) Para amortiguadores no lineales

El coeficiente de amortiguamiento "C" para dispositivos no lineales puede estimarse mediante la siguiente ecuación (FEMA 2000):

$$B_{\text{visc.}} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos \theta_j^{1+\alpha}}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (12)$$

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)}{\Gamma(2+\alpha)} \quad (13)$$

**Donde:**

A : Amplitud del desplazamiento del modo fundamental de la estructura (m).

w : Frecuencia angular fundamental de la estructura,  $\omega = 2\pi f$  (rad/s).

$\alpha$  : Exponente de velocidad.

$\lambda$  : Parámetro lambda

$\Gamma$  : Función gamma.

El parámetro lambda depende de la función gamma ( $\Gamma$ ) definida por Euler, la cual extiende el concepto de factorial a los números complejos y es ampliamente usada en temas de probabilidad y estadística. Las funciones gamma  $\Gamma^2\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)$  y  $\Gamma(2 + \alpha)$  se resuelven mediante la integración por partes.

El FEMA (2000) facilita una tabla que permite obtener el parámetro lambda directamente con el valor del exponente de velocidad  $\alpha$ :

Tabla 2. Valores del parámetro lambda

Coeficiente de velocidad $\alpha$	Valores del parámetro lambda $\lambda$
0,25	3,70
0,50	3,50
0,75	3,30
1,00	3,10
1,25	3,00
1,50	2,90
1,75	2,80
2,00	2,70

Fuente: FEMA 2000

## ii) Exponente de velocidad “ $\alpha$ ”

El exponente de velocidad “ $\alpha$ ” describe el comportamiento histerético de los disipadores; en otras palabras propone la disposición de los lazos histeréticos. Este exponente define la reacción del dispositivo ante los impactos de velocidad.

- 1) Para el caso de edificaciones se recomienda el uso de  $\alpha < 1$ , típico de un disipador no lineal. Cuando el amortiguador cumple esta condición, logra minimizar golpes de velocidades con una baja fuerza en el amortiguador.
- 2) En los amortiguadores lineales, la fuerza es proporcional a la velocidad relativa.
- 3) Los amortiguadores no lineales con  $\alpha > 1$  no son comúnmente utilizados en edificaciones, porque se necesitan grandes velocidades para incrementar significativamente la fuerza en el amortiguador.
- 4) Se recomienda para estructuras comunes utilizar valores de  $\alpha$  que varían entre 0,4 y 0,6 (CDV 2014).
- 5) La Fig 9 ilustra el comportamiento del amortiguador al variar el valor de  $\alpha$ . Para bajas velocidades relativas, los amortiguadores no lineales reaccionan con una mayor fuerza de amortiguamiento.

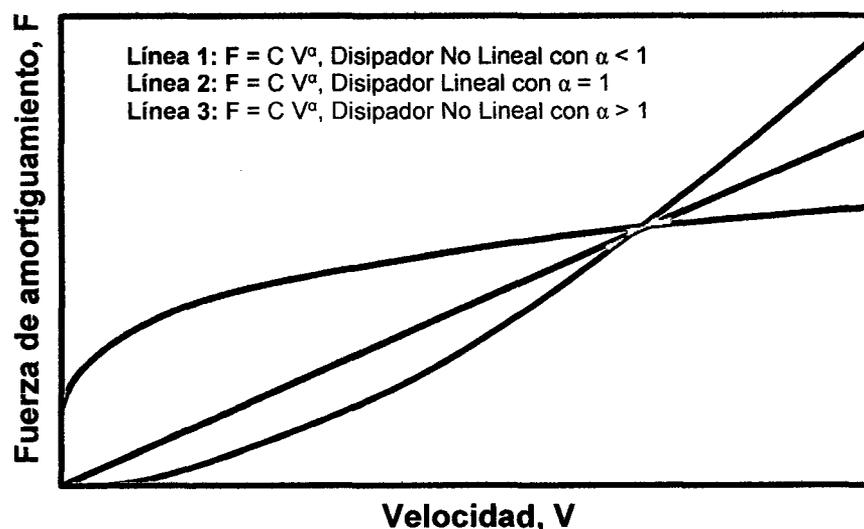


Figura 9. Comportamiento de un amortiguador al variar  $\alpha$

Fuente: Hwang 2002

### iii) Rigidez del dispositivo “K” (Rigidez del brazo metálico)

La rigidez del dispositivo es la rigidez del brazo metálico que lo conecta a la estructura principal. Esto debido a que la rigidez axial del dispositivo es mucho menor a la del brazo, cuyo valor se determina con la siguiente ecuación (WCEE 2004):

$$K = \frac{EA}{L} \quad (14)$$

**Donde:**

K : Rigidez del dispositivo (kip/in).

E : Coeficiente de Elasticidad del Acero (ksi).

A : Área de la sección del brazo metálico (in<sup>2</sup>).

L : Longitud del brazo metálico (in).

Es muy común utilizar perfiles tipo HSS o tipo PIPE por razones de estética y por su facilidad de instalación.

En el proceso de diseño del brazo metálico se deben validar las siguientes expresiones (AISC 2005):

$$\phi T_n = \phi F_y A_g > T_u \text{ (Tensión)} \quad (15)$$

**Donde:**

$\phi_t$  : Factor de reducción (0,90).

T<sub>n</sub> : Tensión nominal (kips).

F<sub>cr</sub> : Esfuerzo de fluencia (ksi)

A<sub>g</sub> : Área bruta de la sección del brazo metálico (in<sup>2</sup>).

T<sub>u</sub> : Tensión última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador (kips).

$$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g > P_u \text{ (Compresión)} \quad (16)$$

**Donde:**

$\phi_c$  : Factor de reducción (0,90).

P<sub>n</sub> : Compresión nominal (kips).

F<sub>cr</sub> : Esfuerzo crítico (ksi).

A<sub>g</sub> : Área bruta de la sección del brazo metálico (in<sup>2</sup>).

P<sub>u</sub> : Compresión última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador (kips).

Para el cálculo del esfuerzo crítico (F<sub>cr</sub>) se utilizará las siguientes expresiones (AISC 2005):

Si:

$$\frac{kL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \quad F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y \quad (17)$$

Ecuación del límite de pandeo inelástico.

Si:

$$\frac{kL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \quad F_{cr} = 0,877 F_e \quad (18)$$

Ecuación del límite de pandeo elástico.

Siendo:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} \quad (19)$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad del acero (ksi).

k : Factor de longitud efectiva, se considera como la unidad.

F<sub>e</sub> : Esfuerzo crítico de pandeo elástico, Euler (ksi).

L : Longitud del brazo metálico (in).

r : Radio de giro (in)

### **g) Recomendaciones sobre el uso del sistema de amortiguamiento fluido viscoso en edificios**

#### **i) En función del tipo de sistema estructural**

Estos dispositivos tienen un mejor comportamiento en un sistema de pórticos o un sistema dual (Taylor 2014).

#### **ii) En función del nivel de desempeño deseado**

A continuación se presenta en la tabla 3 la aplicabilidad del aislamiento y de los sistemas de disipación de energía, en función del nivel de desempeño (FEMA 2000):

Tabla 3: Aplicabilidad del aislamiento y los sistemas de disipación de energía

Aplicabilidad de aislamiento y sistemas de disipación de energía			
Nivel de desempeño	Rango de rendimiento	Aislamiento	Disipación de energía
Totalmente operacional	Control de daño	Muy recomendable	Limitado
Operacional		Recomendable	Recomendable
Resguardo de la vida	Seguridad al límite	Limitado	Recomendable
Cerca del colapso		No practicable	Limitado

Fuente: FEMA 2000

### iii) En función de la edad de la estructura

Estos dispositivos se pueden utilizar en edificaciones existentes, donde se necesita realizar un reforzamiento estructural; y en edificaciones nuevas, donde permite reducir las secciones de los elementos estructurales, logrando así una reducción en el costo total del proyecto (CDV 2014)

### iv) En función de los aspectos arquitectónicos del proyecto

Estos dispositivos se colocan dentro del marco de un pórtico, teniendo así, un mínimo efecto en la integridad arquitectónica del edificio.

Aunque algunos expertos consideran que la exposición de los amortiguadores genera una mejora en la arquitectura del edificio, e inclusive un incremento considerable en el valor del proyecto (CDT 2010).

### v) En función del mantenimiento o vida útil

Los dispositivos de fluido viscoso no requieren de ningún tipo de mantenimiento o reemplazo (CDV 2014).

### vi) En función del costo y las condiciones del proyecto

El costo del análisis, diseño, fabricación e instalación de los amortiguadores en una estructura está en función de los siguientes factores:

- 1) Movimiento del suelo y condiciones de suelo.
- 2) Tipo de estructura.

- 3) Desempeño deseado.
- 4) Número de amortiguadores.
- 5) Capacidad de cada disipador en fuerza, desplazamiento y velocidad.
- 6) Refuerzo requerido de elementos estructurales existentes, conexiones o cimentaciones.
- 7) Detalles de construcción e instalación.
- 8) Interrupción en la ocupación del edificio durante la construcción o reforzamiento.

Para minimizar los costos y seleccionar adecuadamente un amortiguador el proyectista encargado debe contar con dos importantes requerimientos. El primero, un entendimiento claro de las propiedades de este sistema y segundo, un racional proceso de diseño teniendo muy en claro los objetivos del diseño establecido (CDT 2010).

#### **vii) En función de la importancia de la estructura**

Para estructuras importantes y esenciales, el uso de estos dispositivos es muy recomendable ya que el costo de un sistema de amortiguamiento es relativamente bajo en comparación con los gastos que se tendrían que asumir si se realizará la reparación estructural de la edificación después de ocurrido el evento sísmico y los gastos que se originarían por los daños de los contenidos del edificio.

Para edificaciones comunes, como oficinas y departamentos un sistema de protección sísmica por amortiguamiento sería un valor agregado, que puede darse por requerimiento del propietario, y debe considerarse que el costo de venta de una oficina o departamento en un edificio con disipadores de energía siempre será superior al de un edificio convencional (CDT 2010).

#### **viii) En función del tipo de dispositivo seleccionado**

Estos dispositivos se usan cuando se desea incrementar el amortiguamiento para movimientos sísmicos desde pequeños hasta severos (Taylor 2013).

## **h) Beneficios de los disipadores fluido viscosos**

### **i) Ventajas técnicas**

- 1) Reducen los desplazamientos de la estructura ante un sismo.
- 2) Constituyen un elemento estructural adicional.
- 3) Disipan entre un 20% y 50% la energía sísmica.
- 4) Las fuerzas de disipación se incrementan con la velocidad por lo que ante un evento sísmico muy grande el comportamiento del disipador viscoso es el ideal.
- 5) Los disipadores fluido viscosos son ideales para aplicaciones en edificios nuevos y también para reforzamientos.
- 6) No incorporan esfuerzos adicionales a la estructura (CDV 2014).

### **ii) Ventajas funcionales**

- 1) Son estéticos.
- 2) Fácil montaje e instalación.
- 3) Regresan a su posición original luego de un fuerte terremoto (CDV 2014).

### **iii) Ventajas económicas**

- 1) Por los años usados en la industria militar y aeroespacial son los únicos disipadores que son fabricados a prueba de averías. No requieren mantenimiento.
- 2) Permiten reducir el volumen de concreto y acero; logrando así menores espesores de placas, columnas y vigas.
- 3) Disminuyen los daños de los contenidos y de los elementos no estructurales.
- 4) No requieren reemplazo (CDV 2014).

## **i) Criterios para la ubicación de los disipadores**

La ubicación de los disipadores en una edificación influye significativamente en la efectividad del sistema de amortiguamiento. Diversas investigaciones en torno a ello han dado como resultado recomendaciones generales de la ubicación entre las que tenemos (CDT 2010):

- i) En general los dispositivos de disipación se distribuyen en toda la altura de las estructuras, buscando la simetría (CDT 2010).
- ii) Se sugiere ubicar a los disipadores inicialmente en las zonas de velocidades máximas y en los entrepisos que experimentan mayor desplazamiento relativo. La ubicación óptima de los amortiguadores se logra mediante un proceso iterativo (CDT 2010).
- iii) Los dispositivos suelen colocarse en puntos alejados de los centros de gravedad de las plantas del edificio, típicamente en fachadas, a fin de mitigar efectos de torsión en las estructuras (CDT 2010).
- iv) También es importante señalar que el uso del edificio y la arquitectura del mismo son factores que influyen significativamente en la ubicación de los amortiguadores. Por esa razón todos los profesionales envueltos en la construcción y diseño de la edificación deben llegar a un acuerdo en cuanto a la ubicación de los amortiguadores, de manera que cumpla con todos los requerimientos de diseño (CDT 2010).

#### **j) Criterios para la cantidad de disipadores**

A continuación se presenta algunas recomendaciones generales en torno a la cantidad de disipadores, entre las que tenemos:

- i) El sistema de amortiguamiento debe contar como mínimo con dos dispositivos por nivel en cada dirección de análisis.
- ii) Una cantidad mayor de disipadores ubicados sin criterio pueden dar los mismos resultados que un número menor de disipadores ubicados estratégicamente (ASCE 2010).

## k) Estilos de instalación de los disipadores

Los disipadores se pueden instalar de diversas maneras. Las disposiciones más comunes son las de Chevron y diagonales.

### i) Disposición Chevron

La disposición de arriostramiento Chevron es la más eficiente, ya que la capacidad total del disipador es utilizada para controlar el movimiento lateral de la edificación.

Esta disposición se caracteriza por colocar al disipador en posición horizontal, paralelo al plano del techo. De este modo se logra absorber las fuerzas horizontales directamente.

Aunque también esta disposición se puede invertir de tal manera que el disipador este situado cerca del suelo en lugar de cerca del techo. Esto facilita la instalación e inspección de los disipadores.

En términos arquitectónicos la configuración Chevron resulta más conveniente, puesto que permite el libre tránsito a través de la zona reforzada (Taylor 2013).

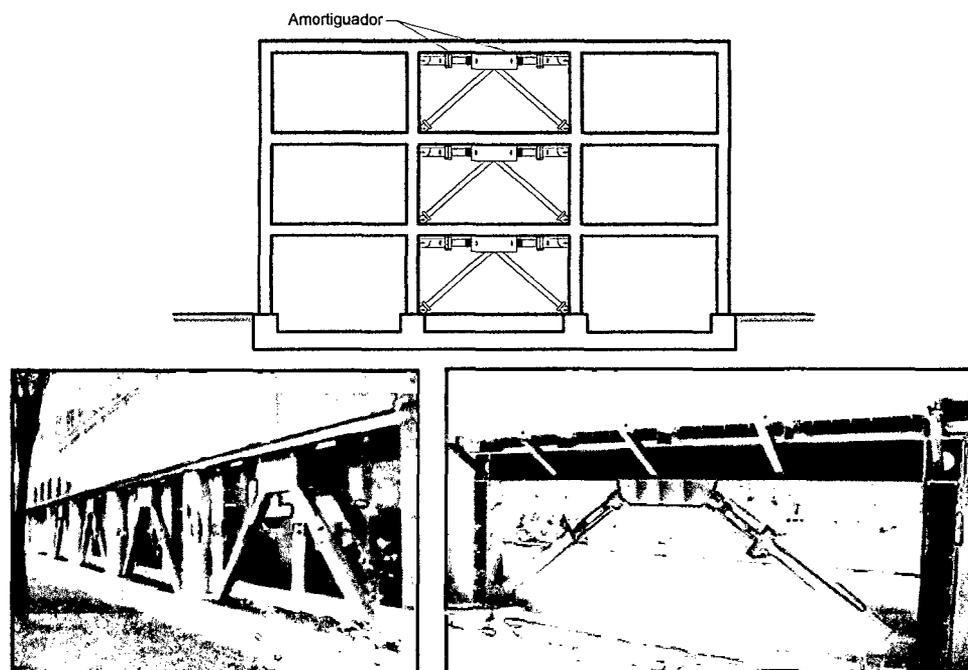


Figura 10. Disipador en disposición Chevron

Fuente: CDV 2014

Entre las desventajas de esta disposición se encuentra el sobreesfuerzo que se genera en la parte intermedia de la viga cercana al disipador, el cual debe ser controlado por medio de planchas, anclajes y un refuerzo adicional en la viga.

## ii) Disposición diagonal

La disposición diagonal es la menos eficaz ya que sólo un componente de la fuerza del amortiguador resiste el movimiento lateral de la edificación.

La principal ventaja que presenta esta disposición es que el pórtico que contiene al disipador no requiere de ningún refuerzo adicional, ya que los nudos pueden diseñarse para los esfuerzos añadidos de los disipadores.

Otra ventaja es que se suele necesitar un menor número de disipadores del que se utilizaría con otra disposición para el mismo nivel de desempeño objetivo (Taylor 2013).

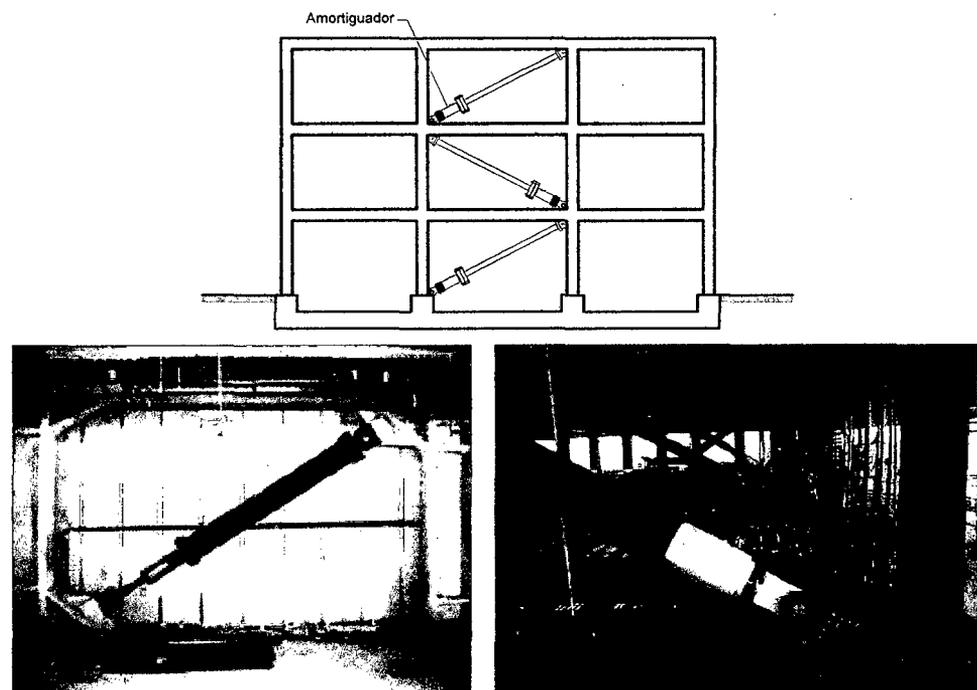


Figura 11. Disipador en disposición diagonal

Fuente: CDV 2014

## **l) Disipadores de energía de fluido viscoso Taylor**

Taylor Device Inc. es una compañía americana ubicada en Tonawanda del norte (New York). Esta empresa se ha dedicado a la fabricación de disipadores de energía de fluido viscoso desde 1955. Hasta fines de la década de los 80, los dispositivos que ellos desarrollaban eran de uso exclusivo del gobierno americano, en la industria militar y de defensa (Taylor 2013).

En la década de los 90, el gobierno americano abolió la restricción de esta tecnología del uso exclusivo militar, permitiendo que los disipadores de energía de fluido viscoso se le den otras aplicaciones. Actualmente se han construido o reforzado muchas estructuras utilizando los dispositivos de disipación de energía fluido viscoso desarrollados por la compañía. La principal ventaja de los dispositivos Taylor es que no requieren de ningún mantenimiento antes, durante o después de haber sido sometidos a solicitaciones de carga. En el Perú, la marca Taylor es representada por la empresa CDV Representaciones (Taylor 2013).

### **2.2.9 Diseño de edificaciones basado en el desempeño**

#### **a) Objetivos del diseño por desempeño**

Los objetivos del diseño desempeño corresponden a expresiones de acoplamiento entre los niveles de desempeño deseados para una estructura y el nivel de sismo de diseño esperado. Para seleccionar estos objetivos, es necesario tener en cuenta factores tales como: la ocupación, la importancia de las funciones que ocurren dentro de la estructura, consideraciones económicas, incluyendo el costo de la interrupción de las actividades que se realizaban en su interior, y consideraciones de la importancia de la estructura.

### **i) Sismos de diseño**

La definición de los sismos de diseño varía de un sitio a otro, dependiendo tanto de la sismicidad de la región en la cual está localizada la estructura, como de los niveles social y económicamente aceptables del daño por parte de las instituciones responsable, los propietarios y usuarios de la estructura.

La propuesta del SEAOC Vision 2000 Committee (1995) establece cuatro sismos de diseño, los cuales se definen en función de los periodos medios de retorno o en función de la probabilidad de excedencia durante un determinado tiempo de exposición, para edificaciones se suele considerar cincuenta años. La tabla 1, muestra los sismos de diseño establecidos por el SEAOC.

Tabla 4. Sismos de diseño

Sismo de diseño	Probabilidad de excedencia en 50 años de exposición	Período de retorno
Sismos frecuentes	69%	43 años
Sismos ocasionales	50%	72 años
Sismos raros	10%	475 años
Sismos muy raros	5%	950 años

Fuente: SEAOC 1995

### **ii) Niveles de desempeño**

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño discreto. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de tres aspectos fundamentales:

- 1) Los posibles daños físicos sobre los componentes estructurales y no estructurales.
- 2) La amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación, inducida por estos daños.
- 3) La funcionalidad de la edificación posterior al terremoto (SEAOC 1995).

La propuesta del SEAOC Vision 2000 Committee (1995) define cuatro niveles de desempeño:

**1) Totalmente operacional:**

Corresponde a un nivel en el cual no ocurren esencialmente daños. La edificación permanece completamente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.

**2) Operacional:**

En este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y el contenido de la edificación, e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo, no obstante, los daños en algunos contenidos y componentes no estructurales pueden interrumpir parcialmente algunas funciones normales. En general se requiere de algunas reparaciones menores.

**3) Resguardo de la vida:**

Está asociado a la ocurrencia de daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, así como en algunos contenidos de la construcción. La rigidez lateral de la estructura y la capacidad de resistir cargas laterales adicionales, se ven reducidas, posiblemente en un gran porcentaje, sin embargo, aún permanece un margen de seguridad frente al colapso. Los daños producidos pueden impedir que la estructura sea ocupada inmediatamente después del sismo, con lo cual, es probable que sea necesario proceder a su rehabilitación, siempre y cuando sea viable y se justifique desde un punto de vista económico.

**4) Cerca al colapso:**

La degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso. Los servicios de evacuación pueden verse interrumpidos por fallos locales, aunque los elementos que soportan cargas verticales continúan en funcionamiento.

Bajo estas condiciones, la estructura es insegura para sus ocupantes y el costo de su reparación puede no ser técnicamente viable desde un punto de vista económico.

En el informe presentado por la SEAOC Vision 2000 Committee (1995) se incluye una descripción exhaustiva de los niveles permisibles de daños asociado a cada uno de los cuatro niveles de desempeño para varios sistemas y subsistemas del edificio, los componentes secundarios y no estructurales (arquitectónicos, eléctricos, mecánicos, etc.). La tabla 5 resume las principales características asociadas a estos niveles de desempeño y su relación con los estados discretos de daño.

Tabla 5. Descripción de los estados de daño y niveles de desempeño

Estado de daño	Nivel de desempeño	Descripción de los daños
Despreciable	Totalmente operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Todas las instalaciones y servicios operan normalmente luego del sismo.
Leve	Operacional	Daños ligeros en elementos estructurales y en componentes no estructurales. Las instalaciones y servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero de fácil recuperación.
Moderado	Reguardo de la vida	Daño estructural y no estructural moderado. La estructura aún conserva un margen de seguridad contra el colapso. El edificio podría repararse aunque no siempre sea económicamente aconsejable.
Extenso	Cerca al colapso	Daño estructural severo. Falla de elementos no estructurales. La seguridad de los ocupantes se encuentra comprometida, las réplicas podrían ocasionar el colapso.
Completo	Colapso	Colapso estructural. No es posible reparar la edificación.

Fuente: SEAOC 1995

### iii) Elección de los objetivos de desempeño

La propuesta del SEAOC Vision 2000 Committee (1995) clasifica a las edificaciones en tres grupos:

- 1) **Edificaciones comunes:** En este grupo se encuentran: Edificios de viviendas, oficinas, hoteles, entre otras.
- 2) **Edificaciones esenciales:** Son aquellas cuya función no debería interrumpirse luego de ocurrido el sismo. En este grupo tenemos a: Hospitales, estaciones de bomberos, policía, colegios, universidades, etc.

**3) Edificaciones de seguridad crítica:** Son aquellas que contienen materiales peligrosos que podrían resultar en una amenaza inaceptable para un amplio sector de la comunidad. Aquí se encuentran: Plantas industriales y centrales nucleares. La propuesta del SEAOC Vision 2000 Committee (1995) determina que los objetivos del diseño por desempeño se relacionan entre sí mediante la denominada matriz de desempeño, la cual se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Matriz de desempeño

		Nivel de desempeño de la edificación			
		Totalmente operacional	Operacional	Resguardo de la vida	Cerca al colapso
Nivel de Demanda Sísmica	Sismos frecuentes (43 años)				
	Sismos ocasionales (72 años)				
	Sismos raros (475 años)				
	Sismos muy raros (970 años)				

	Desempeño inaceptable
	Edificaciones comunes
	Edificaciones esenciales
	Edificaciones de seguridad crítica

Fuente: SEAOC 1995

La visión del diseño sísmico de estructuras consiste en verificar el comportamiento de las edificaciones para cada uno de los sismos; verificaciones que se realizarán sobre las derivas máximas permitidas y en base al daño local y global de la estructura.

Actualmente, el diseño de edificaciones basado en el desempeño nos permite desarrollar estrategias para lograr edificaciones con un buen comportamiento en múltiples escenarios de peligro.

Por otro lado en el Perú se ha realizado estudios de peligro sísmico asociados a los cuatro sismos de diseño, en términos de aceleraciones máximas en la roca, y se ha establecido una relación con el comportamiento estructural mínimo deseado, como se muestra a continuación en la tabla 7 (Muñoz 1999).

Tabla 7. Sismos de diseño, aceleraciones máximas en la roca para la Costa del Perú y comportamiento estructural mínimo deseado

Sismo de diseño	Aceleración (g)	Comportamiento estructural
Sismos frecuentes (43 años)	0,20	Perfectamente elástico
Sismos ocasionales (72 años)	0,25	Prácticamente elástico
Sismos raros (475 años)	0,40	Importantes incursiones inelásticas con pérdida de resistencia y rigidez. La estructura es reparable.
Sismos muy raros (970 años)	0,50	Severas incursiones inelásticas, pérdida casi total de rigidez y resistencia. No resulta práctico reparar la estructura.

Fuente: Muñoz 1999

## b) Deriva y estado de daño

### i) Relación deriva y estado de daño

El FEMA (2003) en su manual Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS, estima la relación deriva y estado de daño, a partir de las curvas de fragilidad. Estas curvas describen la probabilidad de que la respuesta de la estructura exceda un determinado estado de daño, en función de un determinado parámetro de demanda que puede ser la aceleración pico del suelo (PGA) o la deformación permanente del suelo (PGD). A continuación en la Fig 12, se muestra las curvas de fragilidad para los diferentes estados de daño.

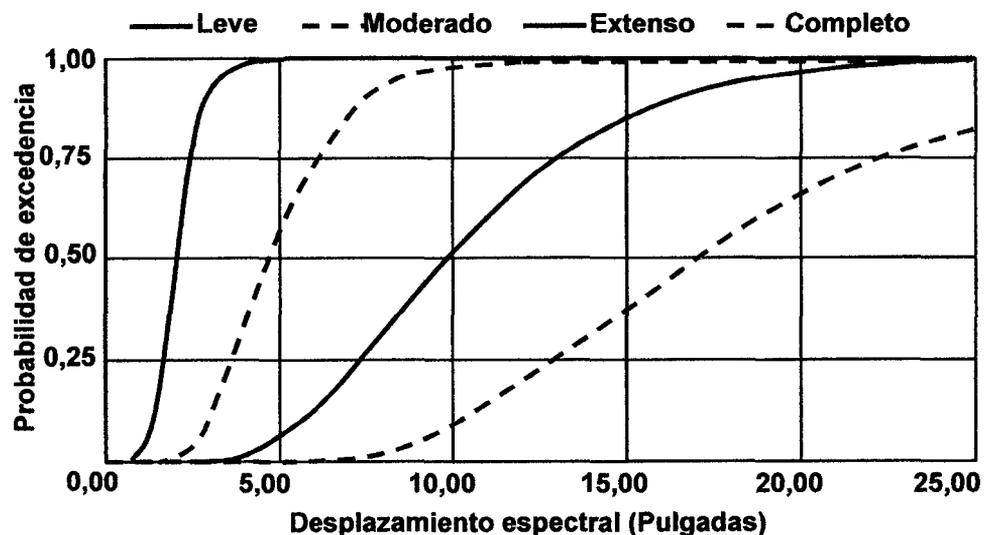


Figura 12. Curvas de fragilidad para los estados de daño leve, moderado, extenso y completo

Fuente: FEMA 2003

## ii) Descripción del estado de daño en los edificios

El FEMA (2003) en la tabla 8, muestra la descripción de los estados de daño:

Tabla 8. Descripción del estado de daño en los edificios

Estado de daño	Características principales
Leve	Pueden observarse grietas de corte y de flexión cerca de la unión de algunas vigas y columnas.
Moderado	La mayoría de columnas y vigas presentan grietas. Algunos elementos como vigas han alcanzado la fluencia. Es evidente la presencia de largas grietas de flexión y en algunos lugares el concreto de recubrimiento se ha desprendido.
Extenso	Algunos pórticos han alcanzado su capacidad última evidente por la presencia de largas grietas de flexión, concreto desprendido y refuerzo principal y transversal deformado. Resulta en un colapso parcial.
Completo	La estructura ha colapsado o está a punto de hacerlo debido a falla frágil, agotamiento de ductilidad o pérdida de la estabilidad del sistema.

Fuente: FEMA 2003

## iii) Descripción del sistema estructural de concreto armado

El FEMA (2003) en la tabla 9, muestra la descripción del sistema estructural de concreto armado.

Tabla 9. Descripción del sistema estructural de concreto armado

N°	Tipo	Descripción	Altura			
			Intervalo		típica	
			Nombre	Pisos	Pisos	Pies
16	C1L	Estructura de concreto armado	Pequeña	1 - 3	2	20
17	C1M		Mediana	4 - 7	5	50
18	C1H		Gran altura	8+	12	120

Fuente: FEMA 2003

## iv) Deriva objetivo y estado de daño para diferentes sistemas estructurales

El FEMA (2003) en su manual utiliza 4 códigos para el diseño sísmico entre los que tenemos: Al pre-código, al código de nivel bajo, al código de nivel moderado y al código de nivel alto. Para obtener la deriva objetivo se utilizará el código de nivel moderado, puesto que es el que más se asemeja a las exigencias de la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 actual.

Para cada tipo de edificio se tiene un estado de daño que se asocia una deriva objetivo. A continuación en la tabla 10 se muestra, estas relaciones:

Tabla 10. Estado de daño y deriva objetivo para un código de nivel moderado de una estructura de concreto armado

Propiedades del edificio	Deriva de entrepiso en el umbral de estado daño					
	Altura (Pulgadas)		Leve	Moderado	Extensivo	Completo
Tipo	Techo	Modal				
C1L	240	180	0,0050	0,0087	0,0233	0,0600
C1M	600	450	0,0033	0,0058	0,0156	0,0400
C1H	1440	864	0,0025	0,0043	0,0117	0,0300

Fuente: FEMA 2003

La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006), considera que la deriva máxima es, como se muestra en la tabla 11:

Tabla 11. Límites para el desplazamiento lateral de entrepiso

Material predominante	Deriva máxima
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010

Fuente: MVCS 2006

### 2.2.10 Metodología del diseño con de disipadores de energía para una edificación

Para realizar un diseño con disipadores de energía se seguirá los siguientes pasos:

#### a) Análisis sísmico de la edificación sin sistemas de disipación de energía

Este análisis se hará con el fin de obtener las derivas máximas de la estructura sin disipadores de energía, en las direcciones X-X e Y-Y.

#### i) Secciones agrietadas:

La estructura se modelará con secciones agrietadas en los elementos estructurales como vigas y columnas según los criterios de figuración del ACI, como se muestra a continuación:

**Vigas** :  $0,35 * I_g$

**Columnas** :  $0,70 * I_g$

Donde "I<sub>g</sub>" es la sección bruta.

## ii) Análisis espectral

El análisis espectral nos permitirá estimar los desplazamientos laterales de la edificación para su posterior verificación de la irregularidad de la edificación, con los límites establecidos la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030.

## iii) Análisis tiempo - historia

La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, establece que para realizar un análisis tiempo-historia, se debe emplear como mínimo 5 registros sísmicos, correspondientes a sismos reales o artificiales. Estos registros deberán normalizarse de manera que la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio. Además señala también que para edificaciones esencialmente importantes el análisis tiempo – historia se efectuará considerando el comportamiento inelástico de los elementos de la estructura.

Por otro lado el ASCE señala que el análisis tiempo - historia deberá ejecutarse con un mínimo de 3 registros sísmicos.

## b) Elección de los objetivos del desempeño sísmico

Para determinar los objetivos del desempeño sísmico se utilizará la matriz de desempeño (Tabla 6), para ello primero se determinará el tipo de edificación, luego de acuerdo al tipo de edificación se determinará los objetivos del desempeño sísmico, por ejemplo para un edificación esencial los objetivos del desempeño son los que se muestran en la tabla 12:

Tabla 12. Objetivos del diseño por desempeño para edificaciones esenciales

Sismo de diseño	Nivel de desempeño
Sismos ocasionales	Totalmente operacional
Sismos raros	Operacional
Sismos muy raros	Resguardo de la vida

Fuente: SEAOC 1995

Una vez establecido los objetivos del desempeño, se procederá luego a realizar la elección del sismo de diseño y del nivel de desempeño deseado para la edificación en análisis. Además con el nivel de desempeño se determinará el estado de daño, el cual se utilizará posteriormente.

### **c) Definición de los objetivos de diseño**

#### **i) Deriva objetivo**

Con el sistema estructural de la edificación y el estado de daño ya establecido, se determinará la deriva objetivo ( $D_{\text{objetivo}}$ ), usando la tabla N°10.

#### **ii) Reducción de la respuesta sísmica “B”**

Con la deriva máxima ( $D_{\text{máx}}$ ) y con la deriva objetivo ( $D_{\text{objetivo}}$ ), ya establecida, se procederá a determinar el factor de reducción de la respuesta sísmica “B”, utilizando la ecuación 7.

#### **iii) Amortiguamiento efectivo “ $\beta_{\text{eff}}$ ”**

Una vez ya obtenido el factor de reducción de la respuesta sísmica “B”, se procede a calcular el amortiguamiento efectivo “ $\beta_{\text{eff}}$ ”, utilizando la ecuación 9.

#### **iv) Amortiguamiento viscoso objetivo “ $B_{\text{visc.}}$ ”**

Con el amortiguamiento efectivo “ $\beta_{\text{eff}}$ ”, se procederá a calcular el amortiguamiento viscoso objetivo “ $B_{\text{visc.}}$ ”, con la ayuda de la ecuación 10.

### **d) Determinación de la ubicación y número de los dispositivos de disipación de energía en la estructura**

Se determinará la ubicación y número de amortiguadores que se colocará en la estructura, siguiendo las recomendaciones antes mencionadas.

**e) Definición de las propiedades del disipador de energía**

**i) Coeficientes de amortiguamiento “C”**

Para la obtención del coeficiente “C”, se asumirá que todos los disipadores de la estructura tienen las mismas propiedades, y utilizará para cada tipo de disipador, para los disipadores lineales se usará la ecuación 11 y para los no lineales la ecuación 12.

**ii) Exponente de velocidad “ $\alpha$ ”**

El exponente de velocidad “ $\alpha$ ” será estimado por el proyectista de acuerdo a la reacción que desee obtener en el disipador de energía.

**iii) Rigidez del dispositivo “K” (Rigidez del brazo metálico)**

Otro parámetro a definir es la rigidez “K”. La cual se determinará con la ecuación 14.

**d) Análisis sísmico de la edificación con sistemas de disipación de energía**

Para el análisis sísmico con sistemas de disipación se considerarán las mismas secciones fisuras en vigas y columnas del análisis sin sistemas de disipación.

Para el modelamiento de los disipadores primero se procederá a introducir las propiedades de los disipadores de energía (C,  $\alpha$  y K) definidas anteriormente. Luego se procederá a dibujar a los disipadores de energía, considerando a cada disipador como un elemento línea y después se les asignará las propiedades introducidas anteriormente.

Link/Support Property Data

Link/Support Type:

Property Name:

Property Notes:

---

Total Mass and Weight

Mass:  Rotational Inertia 1:

Weight:  Rotational Inertia 2:

Rotational Inertia 3:

---

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring:

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs:

---

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U1..."/>
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U2..."/>
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U3..."/>
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R1..."/>
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R2..."/>
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R3..."/>

**Annotations:**  
 - "Seleccionar" points to the U1 checkbox.  
 - "Dar click" points to the "Modify/Show for U1..." button.  
 - Another "Seleccionar" points to the NonLinear checkbox for U1.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name:

Direction:

Type:

NonLinear:

---

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness:

Effective Damping:

---

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness:

Damping Coefficient:

Damping Exponent:

**Annotations:**  
 - "Rigidez del brazo (K)" points to the Stiffness field.  
 - "Coeficiente de amortiguamiento (C)" points to the Damping Coefficient field.  
 - "Exponente de velocidad ( $\alpha$ )" points to the Damping Exponent field.

Figura 13. Ingreso de las propiedades de los disipadores de energía en el SAP

## **e) Respuesta de la estructura con sistema de amortiguamiento**

### **i) Verificación de derivas**

Luego de realizar el análisis sísmico con la primera iteración de los factores “C” y “α”. Se evaluará si las derivas máximas obtenidas usando el sistema de amortiguamiento, han alcanzado la deriva objetivo. Si no fuera el caso, se procede a iterar el valor de los factores “C” y “α”, la cantidad de dispositivos e inclusive la ubicación o disposición de dispositivos; en este orden de importancia cuantas veces sea necesario, hasta alcanzar la deriva objetivo.

### **ii) Balance de energía**

Una vez alcanzada la deriva objetivo, se procederá a evaluar el balance energético de la estructura con el sistema de amortiguamiento. El balance energético nos permitirá apreciar cual es la participación de los amortiguadores y cuál es la participación de la estructura en la disipación de la energía total. Además nos permite evaluar la efectividad de la ubicación y disposición de los amortiguadores.

El porcentaje de disipación de energía se calculará con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de disipación de energía} = \frac{E_d}{E} \quad (20)$$

**Donde:**

E : Energía de entrada del movimiento sísmico (Joule).

E<sub>d</sub> : Energía de amortiguamiento (Joule).

## **f) Diseño estructural**

### **i) Diseño del sistema de amortiguamiento**

#### **1) Diseño de los elementos de concreto armado**

Para el diseño de las columnas de concreto armado las fuerzas axiales obtenidas del análisis del edificio sin amortiguadores y con el espectro reducido, se amplifican con un coeficiente “A”. Este coeficiente expresa la razón de las fuerzas

axiales en las columnas cuando se disponen de amortiguadores en la estructura con respecto a las fuerzas axiales en las columnas cuando se obtiene cuando la estructura no dispone de amortiguadores, bajo el análisis tiempo-historia. El coeficiente se puede representar con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{N_{con\ disipadores}}{N_{sin\ disipadores}} \quad (21)$$

Este coeficiente es propio de cada columna. Sin embargo, si los valores de "A" son semejantes, se puede asumir un promedio que afecte a todas las columnas que forman parte del sistema de amortiguamiento.

## **2) Diseño de los dispositivos de amortiguación**

Las conexiones metálicas y los dispositivos de amortiguación serán diseñadas con los esfuerzos críticos obtenidos del análisis tiempo historia no lineal.

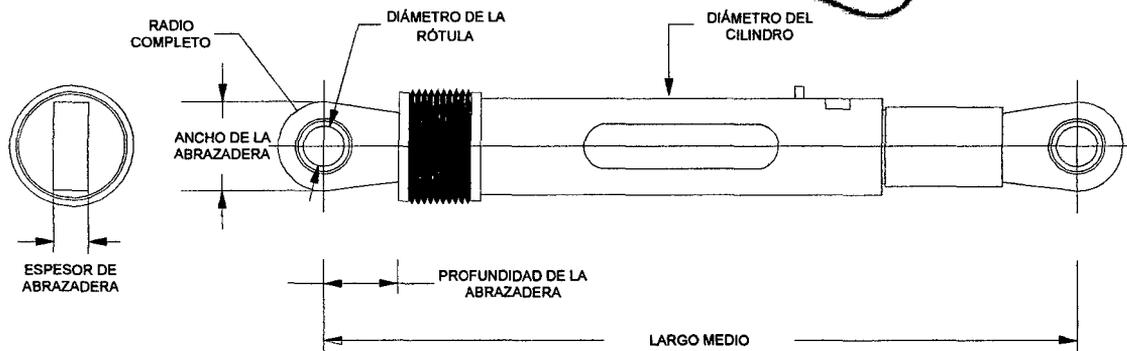
**(1) Diseño la placa base del disipador:** Se utilizará para ello la Fig 15 y la Fig 16.

**(2) Diseño del brazo metálico:** Una vez obtenidas las fuerzas de diseño se procederá a agrupar a los dispositivos de acuerdo a la magnitud de su fuerza (No considerar más de 7 grupos). Luego se procederá a definir las propiedades de estos dispositivos a partir de las propiedades de los perfiles estructurales dados por fabricantes, entre los tipos de estos perfiles tenemos a los:



**taylor devices inc.**

**FLUID VISCOUS DAMPERS &  
LOCK-UP DEVICES**



FUERZA	DIÁMETRO DE LA RÓTULA (mm)	LARGO MEDIO (mm)	GOLPE (mm)	ESPESOR DE ABRAZADERA (mm)	ANCHO DE ABRAZADERA (mm)	PROFUNDIDAD DE ABRAZADERA (mm)	DIÁMETRO DEL CILINDRO (mm)	PESO (KG)
250 KN	38,10	867	± 75	41	100 MAX.	83	115 MAX.	41
500 KN	50,80	1067	± 100	54	120 MAX.	102	150 MAX.	84
750 KN	57,15	1194	± 100	57	155 MAX.	129	185 MAX.	136
1000 KN	69,85	1238	± 100	70	191 MAX.	150	210 MAX.	193
1500 KN	76,20	1315	± 100	76	205 MAX.	162	240 MAX.	360
2000 KN	88,90	1575	± 125	89	230 MAX.	191	290 MAX.	408
3000 KN	101,60	1575	± 125	114	325 MAX.	203	350 MAX.	590
4000 KN	127,00	1880	± 125	140	325 MAX.	273	425 MAX.	1202
6500 KN	152,40	2134	± 125	152	350 MAX.	305	515 MAX.	1860
8000 KN	177,80	2242	± 125	178	415 MAX.	317	565 MAX.	2595

**NOTE:** VARIOUS STROKES ARE AVAILABLE, FROM ±50 TO ±900 MILLIMETERS. FORCE CAPACITY MAY BE REDUCED FOR STROKE LONGER THAN STROKE LISTED IN TABLE. ANY STROKE CHANGE FROM THE STANDARD STROKE VERSION DEPICTED CHANGES MID-STROKE LENGTH BY FIVE MILLIMETERS PER ±1 MILLIMETER OF STROKE.

**EXAMPLE:** 1000 KN ± 100 MILLIMETERS STROKE, MID-STROKE LENGTH IS 123.5 MILLIMETERS

1000 KN ± 100 MILLIMETERS STROKE, 150-100 = 50 TIMES FIVE, 250 + 1235 + 250 = 1485 MILLIMETERS MID STROKE LENGTH.

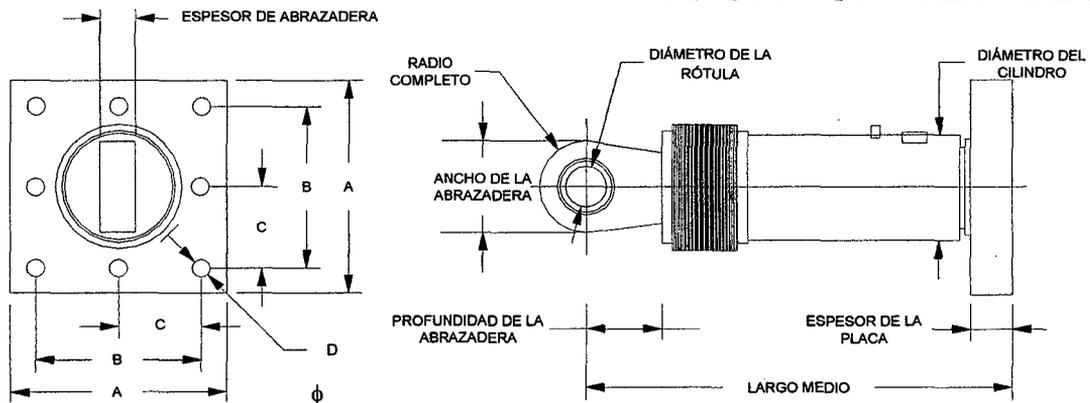
BELLOWS MAY BE REPLACED WITH A STEEL SLEEVE AS DESIRED STROKE LENGTHS INCREASE. CONSULT TAYLOR DEVICES FOR STROKE OVER ± 300 MILLIMETERS AND/OR FOR FORCE CAPACITIES FOR STROKE LONGER THAN LISTED IN TABLE.

TAYLOR DEVICES INC. 90 TAYLOR DRIVE, N TONAWANDA, NEW YORK, 14120  
WWW.TAYLORDEVICESINC.COM, PHONE 716-694-0800 OR FAX 716-695-6015

Figura 14. Propiedades del dispositivo Taylor devices inc. – Argollas

Fuente: CDV 2014

# FLUID VISCOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES



FUERZA	DIÁMETRO DE LA RÓTULA (mm)	LARGO MEDIO (mm)	GOLPE (mm)	ESPESSOR DE ABRAZADERA (mm)	ANCHO DE ABRAZADERA (mm)	PROFUNDIDAD DE ABRAZADERA (mm)	DIÁMETRO DEL CILINDRO (mm)	PESO (KG)
250 KN	3810	787	± 75	41	100 MAX.	83	114 MAX.	44
500 KN	50,80	997	± 100	54	127 MAX.	102	150 MAX.	98
750 KN	57,15	1016	± 100	57	155 MAX.	129	184 MAX.	181
1000 KN	69,85	1048	± 100	70	191 MAX.	150	210 MAX.	254
1500 KN	76,20	1105	± 100	76	205 MAX.	162	241 MAX.	306
2000 KN	88,90	1346	± 125	89	230 MAX.	191	292 MAX.	450
3000 KN	101,60	1441	± 125	114	290 MAX.	203	350 MAX.	800
4000 KN	127,00	1626	± 125	140	325 MAX.	273	425 MAX.	1088
6500 KN	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
8000 KN	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

FUERZA	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	ESPESSOR DE ABRAZADERA (mm)
250 KN	178 ± 3	127 ± 25	*	20,6 ± 25	38 ± 76
500 KN	282 ± 3	203 ± 25	*	31,8 ± 25	38 ± 76
750 KN	343 ± 3	254 ± 25	127 ± 25	28,7 ± 25	61 ± 76
1000 KN	419 ± 3	318 ± 25	159 ± 25	31,8 ± 25	76 ± 1,5
1500 KN	432 ± 3	330 ± 25	165 ± 25	34,9 ± 25	76 ± 1,5
2000 KN	457 ± 3	343 ± 25	171,5 ± 25	38,1 ± 25	102 ± 1,5
3000 KN	508 ± 3	406 ± 25	203 ± 25	41,4 ± 25	102 ± 1,5
4000 KN	↑	↑	↑	↑	↑
6500 KN	↑	↑	↑	↑	↑
8000 KN	↑	↑	↑	↑	↑

**NOTE:** VARIOUS STROKES ARE AVAILABLE, FROM ±50 TO ±900 mm. FORCE CAPACITY MAY BE REDUCED FOR STROKE LONGER THAN STROKE LISTED IN TABLE. ANY STROKE CHANGE FROM THE STANDARD STROKE VERSION DEPICTED CHANGES MID-STROKE LENGTH BY FIVE mm PER ±1 mm OF STROKE.

**EXAMPLE:** 1000 KN ± 100 mm STROKE, MID-STROKE LENGTH IS 1048 mm

1000 KN ± 150 mm STROKE, 150-100 = 50 TIMES FIVE = 250, 1048 + 250 = 1298 mm MID-STROKE LENGTH.

BELLOWS MAY BE REPLACED WITH A STEEL SLEEVE AS DESIRED STROKE LENGTHS INCREASE. CONSULT TAYLOR DEVICES FOR STROKE OVER ± 300 mm AND/OR FOR FORCE CAPACITIES FOR STROKE LONGER THAN LISTED IN TABLE.

\* DENOTES 4-BOLT MOUNTING PATTERN.

↑ DENOTES CUSTOM PATTERN. CONSULT FACTORY.

TAYLOR DEVICES INC. 90 TAYLOR DRIVE, N TONAWANDA, NEW YORK, 14120

WWW.TAYLORDEVICESINC.COM, PHONE 716-694-0800 OR FAX 716-695-6015

Figura 15. Propiedades del dispositivo Taylor devices inc. – Placa base

Fuente: CDV 2014

Perfiles Hollow Structural Sections (HSS): Existen tres tipos de perfiles estructurales huecos: los HSS rectangulares, cuadrados y redondos. Los más utilizados son los HSS redondos, y a continuación se presenta sus propiedades en la tabla 13:

Tabla 13: Propiedades geométricas HSS9.625 – HSS6.875

<b>Round HSS</b>											
<b>Dimensions and Properties</b>										HSS9,625 - HSS6,875	
Shape	Design Wall Thickness, t in.	Nominal Wt lb/ft	Area, A in. <sup>2</sup>	D/t	I in. <sup>4</sup>	S in. <sup>3</sup>	r in.	Z in. <sup>3</sup>	Torsión		
									J in. <sup>4</sup>	C in. <sup>3</sup>	
HSS 7.50	x 0,500	0,465	37,42	10,3	16,1	63,9	17	2,49	23	128	34,1
	x 0,375	0,349	28,56	7,84	21,5	50,2	13,4	2,53	17,9	100	26,8
	x 0,312	0,291	23,97	6,59	25,8	42,9	11,4	2,55	15,1	85,8	22,9
	x 0,250	0,233	19,38	5,32	32,2	35,2	9,37	2,57	12,3	70,3	18,7
	x 0,188	0,174	14,7	4	43,1	26,9	7,17	2,59	9,34	53,8	14,3

<sup>1</sup> Shape exceeds compact limit for flexure with  $F_y = 42$  ksi.

Fuente: AISC 2005

## ii) Diseño del sistema estructural

### 1.5.1 Espectro reducido

El incremento de amortiguamiento en la estructura permite una reducción en la amenaza sísmica, principalmente para los elementos que no forman parte del sistema de amortiguamiento. Es decir, para aquellas columnas o vigas que no están conectadas directamente a uno o más disipadores, puede admitirse una reducción del espectro de la norma E.030 de hasta el 25% con fines de diseño. Esta reducción fue expuesta en la tabla 1.

### 2.2.11 Síntesis de la metodología

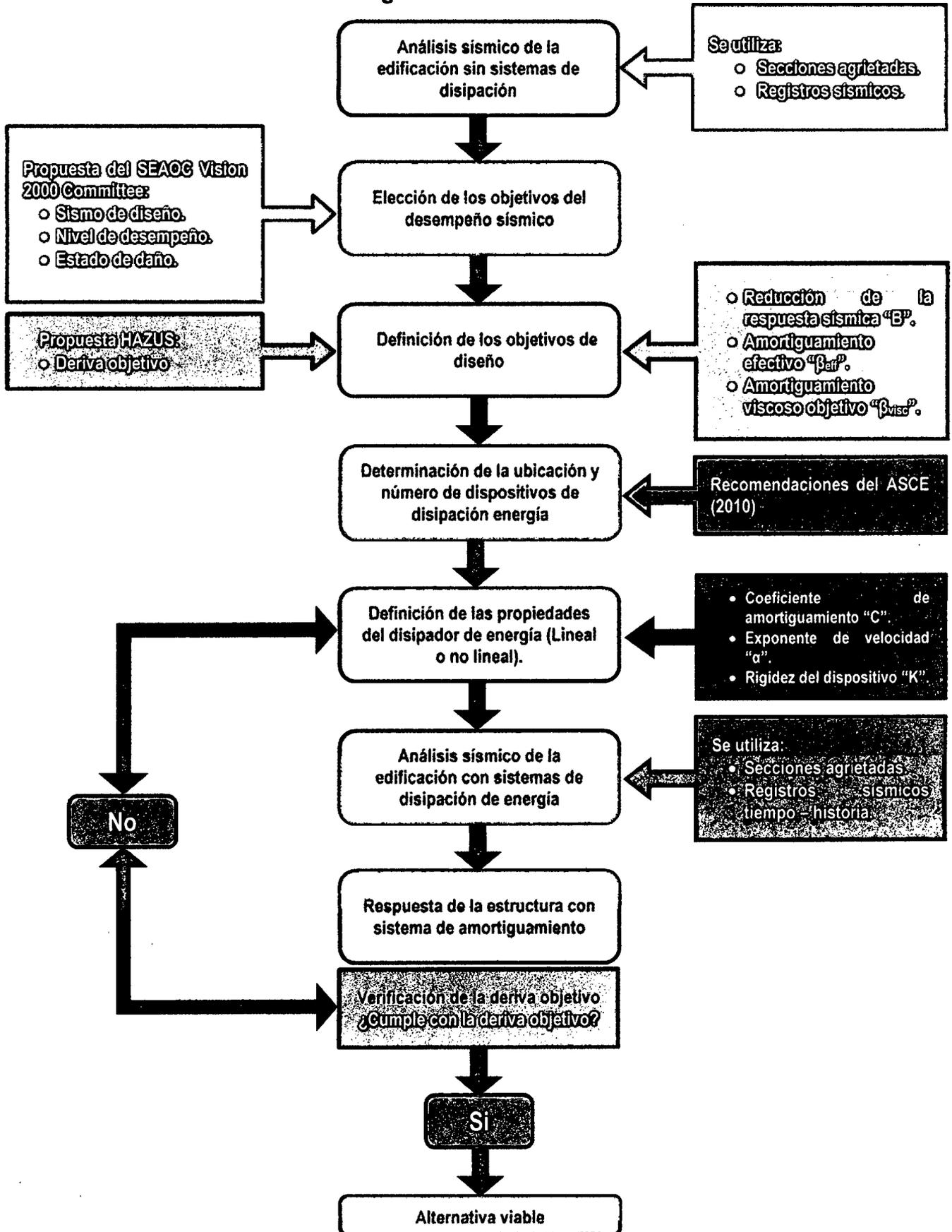


Figura 16. Síntesis de la metodología

## 2.3 Definición de términos básicos

- 2.3.1 Acelerograma:** Es el registro aceleración vs. tiempo (Villarreal 2013).
- 2.3.2 Análisis tiempo-historia:** Se basa en la aplicación de por lo menos cinco registros de aceleraciones horizontales (Acelerogramas) reales o artificiales y debiendo de normalizarse; de tal manera que la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio del proyecto. Se aplica para edificaciones especiales (Villarreal 2013).
- 2.3.3 Amortiguación:** Es una característica de los materiales de construcción o de los sistemas de protección sísmica de absorber energía, lo cual se puede observar cuando se realiza un balance energético (Villarreal 2013).
- 2.3.4 Brazos rígidos:** Sirve para que el programa de modelamiento considere la luz real de la viga en lugar de una luz teórica que de centro a centro (Villarreal 2013).
- 2.3.5 Derivas:** Se conoce como distorsión de entrepiso o deriva al cociente entre la diferencia de desplazamientos laterales de dos niveles consecutivos de la estructura entre la altura de dicho entrepiso. (MCVS 2006).
- 2.3.6 Diafragma rígido:** Se produce cuando el desplazamiento de cada nudo de la losa depende del desplazamiento de su centro de masa (Villarreal 2013).
- 2.3.7 Disipadores de energía fluido viscoso:** Son elementos que se adosan a los pórticos estructurales y que en un movimiento sísmico disipan la energía a través del paso del fluido viscoso en su interior ocasionando una resistencia al movimiento libre del edificio (CDV 2014).
- 2.3.8 Estructura:** Es el armazón que le da forma a un edificio, lo sostiene, fija al suelo y hace que las cargas se transmitan a éste. La estructura hace resistente a una edificación ante movimientos sísmicos (Villarreal 2013).
- 2.3.9 Elementos estructurales:** Son aquellos elementos que soportan los esfuerzos y deformaciones que tiene una determinada estructura, siendo parte de ella (Villarreal 2013).

- 2.3.10 Elementos no estructurales:** Los elementos no estructurales son aquellos que no forman parte integrante de la estructura y no contribuyen a su resistencia y rigidez, así como aquellos elementos desligados adecuadamente de ella. Están incluidos en esta definición elementos frágiles como el vidrio y el yeso, y las particiones cuyo espesor no es suficiente para contribuir significativamente a la rigidez y resistencia del sistema estructural; de igual forma los plafones, las instalaciones y equipos (Villarreal 2013).
- 2.3.11 Grados de libertad:** Los movimientos que puede realizar son desplazamientos laterales en x e y, rotación alrededor del eje vertical z. (Villarreal 2013).
- 2.3.12 Nivel de desempeño:** Es una expresión de la máxima extensión del daño, donde se considera la condición de los elementos estructurales, los elementos no estructurales y su contenido, relacionado en función de la edificación (SEAOC 1995).
- 2.3.13 Modos de vibración:** Es la forma de vibrar de la estructura, dependiente de la interacción entre la rigidez de la estructura y la distribución de masas en la edificación (Villarreal 2013).
- 2.3.14 Vulnerabilidad sísmica de una estructura:** Se define como la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente a las características físicas y estructurales del diseño (Villarreal 2008).

# CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

## 3.1 Ubicación geográfica

El Edificio Principal de la UNC – Sede Jaén está ubicado entre la Calle Arana Vidal, la Prolongación Manco Cápac, la Calle Marieta y la Calle Universidad, pertenecientes al sector Morro Solar Bajo de la ciudad de Jaén, geográficamente ubicada en la zona Nor Oriental del departamento de Cajamarca, provincia y distrito de Jaén a una altitud de 729 m.s.n.m, cuyas coordenadas geográficas son  $05^{\circ}42'00''$  de latitud sur y  $78^{\circ}48'00''$  de longitud oeste y cuyas coordenadas UTM (DATUM WGS 84, Zona 17 M) son 743 662 E y 9 369 493 N. En las Fig 17, 18 y 19 se presenta la ubicación específica del edificio.

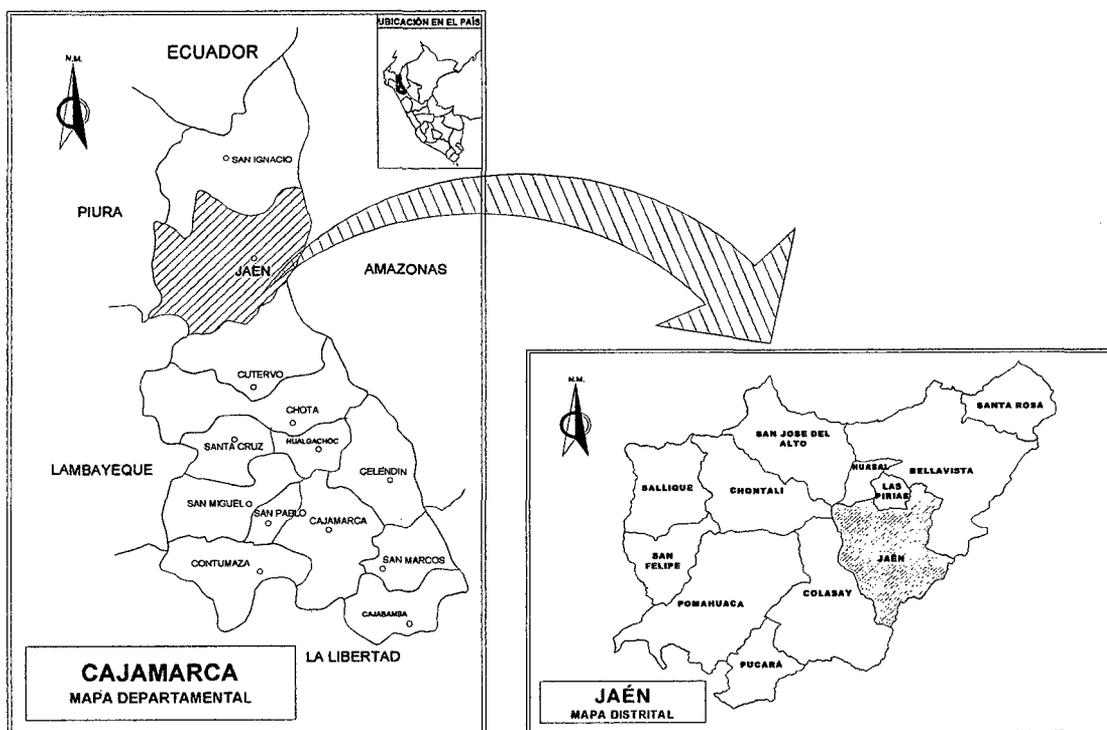


Figura 17. Ubicación de la provincia de Jaén en el mapa de la región Cajamarca y ubicación del distrito de Jaén en el mapa distrital de Jaén.

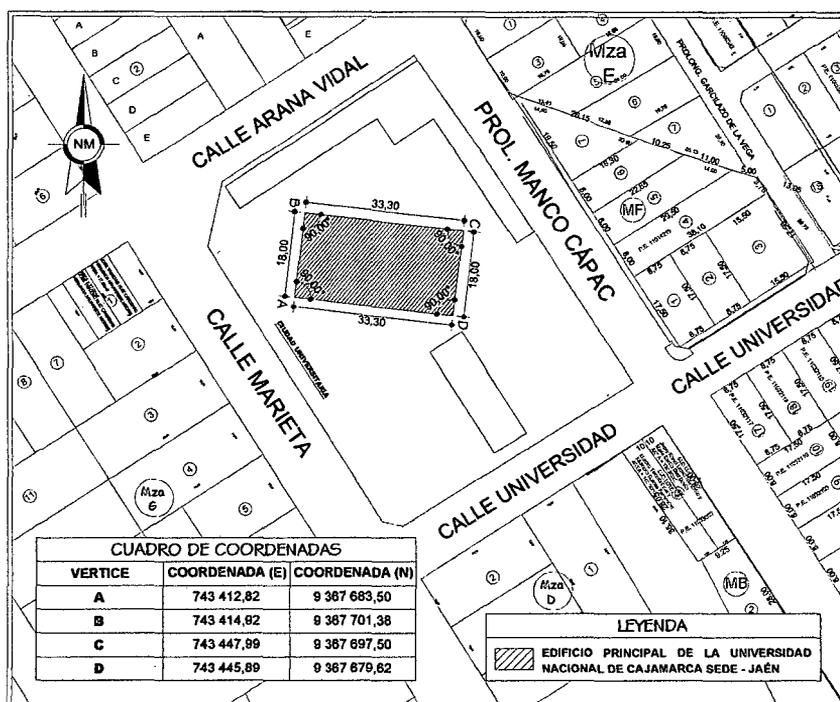


Figura 18. Ubicación del Edificio Principal de la UNC - Sede Jaén

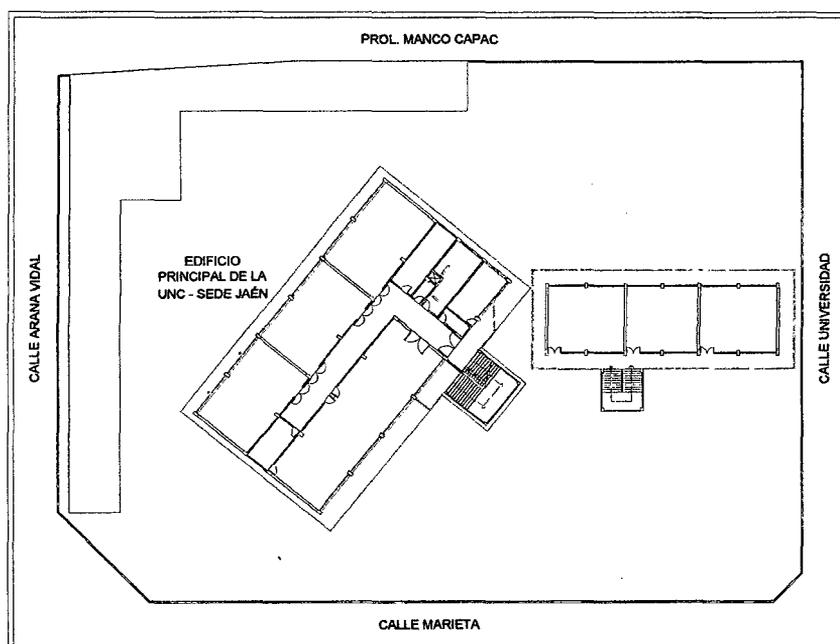


Figura 19. Ubicación del Edificio Principal de la UNC - Sede Jaén en la Ciudad Universitaria.

### 3.2 Ubicación en el tiempo

Este trabajo de investigación se desarrolló entre los meses de agosto y noviembre del 2014.

### 3.3 Procedimiento para el diseño de la edificación con disipadores de energía

#### 3.3.1 Descripción de la estructura

El Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén, es una edificación de concreto armado, apoticado, de 3 niveles.

Este edificio se encuentra ubicado en la parte central de la ciudad universitaria por lo que posee dos frentes cuyas dimensiones son en la dirección X-X; 33,30 m y en la dirección Y-Y; 18,00 m, por el lado de mayor dimensión se encuentra la escalera, la cual es una estructura independiente del edificio.

Cada piso cuenta con SS.HH. para hombres y para mujeres. En lo que se refiere al sistema estructural, el edificio está estructurado en base a pórticos formados por columnas y vigas de 30 cm x 60 cm, en los tres niveles. El sistema de losas para el primer y segundo nivel es una losa aligerada de 20 cm de espesor, y para el tercer nivel es un techo de estructura metálica. En cuanto a la subestructura está constituido por base a vigas de cimentación de 30cm x 55cm y zapatas aisladas de 2,80 m x 2,80 m y de 2,80 m x 6,50 m.

Los datos generales del edificio, las áreas por ambientes y del sistema estructural son señalados a continuación en las tablas 14. 15 y 16.

Tabla 14. Datos generales

Función	Edificio Universitario	
Ubicación	Distrito de Jaén, Cajamarca, Perú	
Niveles	3	
Área techada	1er Nivel	616,06 m <sup>2</sup>
	2do Nivel	616,06 m <sup>2</sup>
	3er Nivel	616,06 m <sup>2</sup>
Altura de entrepiso	1er Nivel	3,70 m
	2do Nivel	3,50 m
	3er Nivel	3,50 m (Extremos) – 5,25 m (Medio)
Ambientes	1er Nivel	5 aulas.
	2do Nivel	2 laboratorios y 3 aulas.
	3er Nivel	2 aulas, 1 salón de cómputo y 1 biblioteca

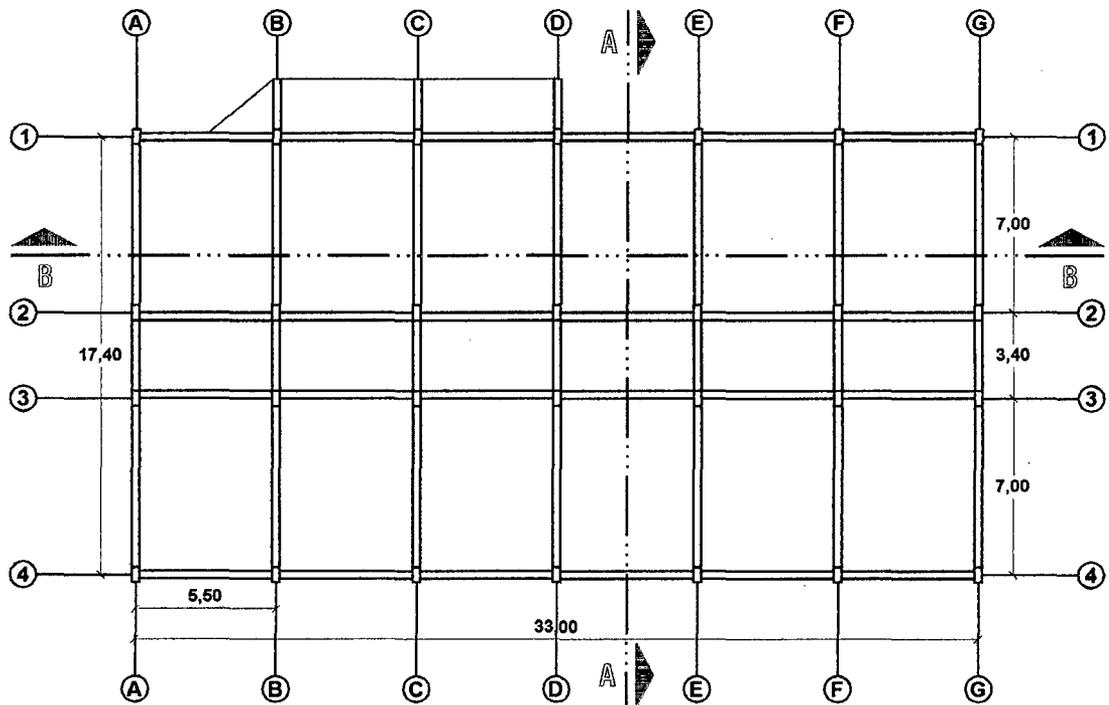
Tabla 15. Áreas de los ambientes

Primer nivel	
Ambiente	Área m <sup>2</sup>
Aulas	423,64
Baños	62,59
Almacén	16,31
Corredores	86,57
Segundo nivel	
Ambiente	Área m <sup>2</sup>
Aulas	245,90
Laboratorios	163,56
Oficina	8,19
Baños	50,85
Almacén	25,56
Corredores	122,00
Tercer nivel	
Ambiente	Área m <sup>2</sup>
Aulas	163,56
Taller de cómputo	82,34
Biblioteca	163,56
Baños	50,85
Almacén	33,75
Corredores	122,00

Tabla 16. Sistema estructural

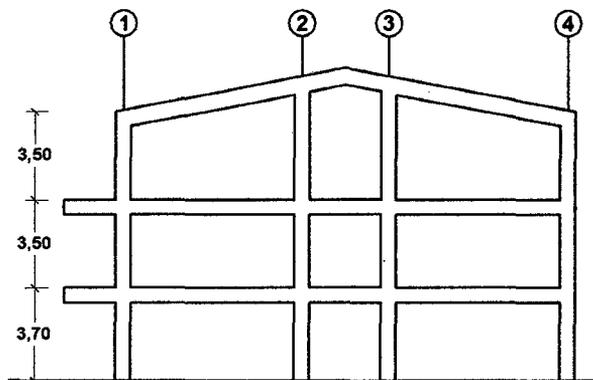
Sistema estructural	Concreto Armado	
	Pórticos	
Elementos estructurales	Columnas	30 cm x 60 cm
	Vigas principales	30 cm x 60 cm
	Vigas secundarias	30 cm x 60 cm
	Losa aligerada	e = 20 cm
f <sub>c</sub>	Columnas	
	Vigas principales	210 kg/cm <sup>2</sup>
	Vigas secundarias	

En la Fig 20 que se muestran a continuación se detalla la planta típica y la elevación del Edificio Principal UNC - Sede Jaén.



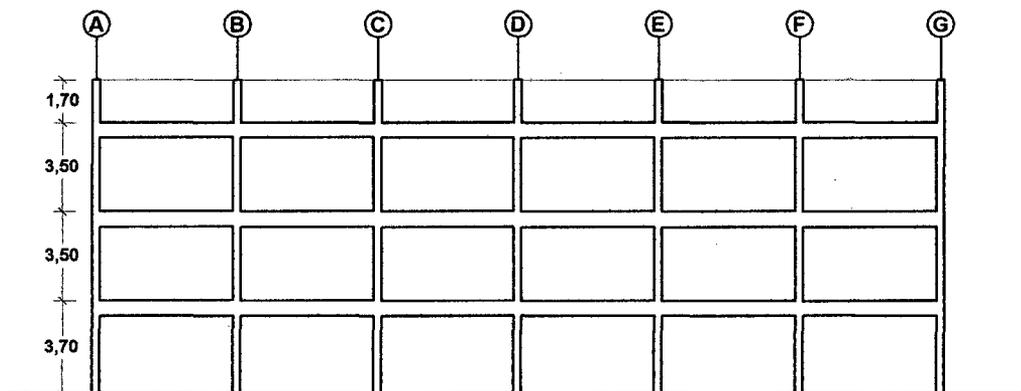
**Planta típica**

Escala: 1/300



**Corte A-A**

Escala: 1/300



**Corte B-B**

Escala: 1/300

**Figura 20. Planta típica, Corte A-A y Corte B-B del Edificio Principal UNC - Sede Jaén**

### 3.3.2 Metrado de cargas

Para el metrado se consideraron los pesos unitarios y cargas mínimas repartidas que se muestran a continuación:

Tabla 17. Pesos unitarios para la carga muerta (CM)

Descripción	Peso propio kg/m <sup>2</sup>
Losa aligerado h = 20 cm	300
Acabado	100
Teja	20
Fibra de vidrio	10

Fuente: MVCS 2006

Tabla 18. Cargas vivas mínimas repartidas para la carga viva (CV)

Descripción	Cargas repartidas kg/m <sup>2</sup>
Aulas	250
Talleres	350
Oficinas	250
Laboratorio	300
Corredores y escaleras	400
Biblioteca (Salas de lectura)	300
Baños	300
Almacén	500
Techos con inclinación mayor de 3°	50

Fuente: MVCS 2006

Los resultados del metrado de cargas para los diferentes niveles se muestran a continuación:

Tabla 19. Metrado de cargas para el primer nivel

Carga muerta (CM)	
Descripción	Peso (t)
Losa aligerada	161,99
Vigas principales	49,77
Vigas secundarias	53,91
Columnas	58,67
Muros	162,34
Acabado	61,61
CM Total	548,28
Carga viva (CV)	
Sobrecarga	167,47
CV Total	167,47

Tabla 20. Metrado de cargas para el segundo nivel

Carga muerta (CM)	
Descripción	Peso (t)
Losa aligerada	161,99
Vigas principales	49,77
Vigas secundarias	53,91
Columnas	42,34
Muros	158,05
Acabado	61,61
CM Total	527,66
Carga viva (CV)	
Sobrecarga	189,43
CV Total	189,43

Tabla 21. Metrado de cargas para el tercer nivel

Carga muerta (CM)	
Descripción	Peso (t)
Cobertura liviana	2,63
Correa cumbrera	5,57
Vigas principales	48,08
Vigas secundarias	53,91
Columnas	29,94
Muros	119,13
CM Total	274,69
Carga viva (CV)	
Sobrecarga	30,80
CV Total	30,80

### 3.3.3 Peso sísmico

El peso sísmico se calculó según la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{sismo}} = CM + 50\%CV \quad (22)$$

El cálculo del peso sísmico se muestra en la tabla 22:

Tabla 22. Peso sísmico

Piso	Carga muerta (CM) (t)	Carga viva (CV) (t)	50% Carga viva (CV) (t)	Peso por sismo (Psismo) (t)
1	548,28	167,47	83,73	632,01
2	527,66	189,43	94,71	622,37
3	274,69	30,80	15,40	290,09
TOTAL	1 350,63	387,70	193,85	1 544,47

### 3.3.4 Masas traslacionales y rotacionales

#### a) Masa traslacional

La masa traslacional se calculó con la siguiente ecuación (Villarreal 2010):

$$M_t = \frac{P_{\text{sismo}}}{g} \quad (23)$$

#### b) Masa rotacional (Estructura irregular)

La masa rotacional se calculó con la siguiente ecuación (Villarreal 2010):

$$M_r = \frac{M_t(I_x + I_y)}{A} \quad (24)$$

El cálculo de las masas traslacionales y rotacionales se muestran en la tabla 23:

Tabla 23. Masa traslacionales y rotacionales

Piso	Altura (m)	Peso por sismo ( $P_{\text{sismo}}$ ) (t)	Masa traslacional ( $M_t$ ) (t.s <sup>2</sup> /m)	Masa rotacional ( $M_r$ ) (t.s <sup>2</sup> /m)
1	3,70	632,01	64,43	7712,43
2	3,50	622,37	63,44	7594,78
3	5,25	290,09	29,57	3539,98
TOTAL	12,45	1544,47	157,44	1 8847,19

### 3.3.5 Centro de masas, excentricidad accidental y momento de inercia

#### a) Centro de masas

Los centros de masa se calcularon con las siguientes ecuaciones (Villarreal 2010):

$$X_{CM} = \frac{\sum A_i \cdot x_i}{\sum A} \quad (25)$$

$$X_{CM} = 16,34 \text{ m}$$

$$Y_{CM} = \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A} \quad (26)$$

$$Y_{CM} = 9,13 \text{ m}$$

## b) Excentricidad accidental

La excentricidad accidental se calculó según la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, con las siguientes expresiones:

$$e_x = 0,05 L_x \quad (27)$$

$$e_x = 1,67 \text{ m}$$

$$e_y = 0,05 L_y \quad (28)$$

$$e_y = 1,00 \text{ m}$$

## c) Momento de inercia

Los momentos de inercia se calcularon con las siguientes ecuaciones (Villarreal 2010):

$$I_x = I_{ix} + A \cdot y_i^2 \quad (29)$$

$$I_x = \sum I_x \quad (30)$$

$$I_x = 55\,774,5 \text{ m}^4$$

$$I_y = I_{iy} + A \cdot x_i^2 \quad (31)$$

$$I_y = \sum I_y \quad (32)$$

$$I_y = 17\,974,7 \text{ m}^4$$

### 3.3.6 Parámetros sísmicos

#### a) Zonificación sísmica (Z)

La edificación en estudio se encuentra ubicada en la zona 3, por ello le corresponde el siguiente factor de zonificación:

$$\text{Zona 3 (Z)} \quad : \quad 0,40g$$

#### b) Condiciones geotécnicas ( $T_p$ y S)

De acuerdo a las características del suelo, el suelo se clasifica como un suelo tipo S3, que es un suelo flexible, éste suelo posee las siguientes condiciones geotécnicas:

$$\text{Perfil tipo} \quad : \quad S3$$

**(T<sub>p</sub>)** : 0,9 seg

**Factor de suelo (S)** : 1,4

**c) Factor de amplificación sísmica (C')**

Este valor representa el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración del suelo. Este coeficiente se define dependiendo de la ubicación del edificio y del suelo sobre el cual se construirá el mismo. De acuerdo con la norma E.030 se define así:

$$C' = 2,5\left(\frac{T_p}{T}\right); C' \leq 2,50 \quad (33)$$

**Donde:**

T<sub>p</sub> : Periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo.

T : Periodo fundamental de la estructura para el análisis estático o periodo de un modo en el análisis dinámico.

C' : Factor de amplificación sísmica.

**d) Categoría de la edificación y factor de uso (U)**

De acuerdo al uso que se va a dar a éste edificio, tenemos según la norma E.030 que pertenece a la categoría A de Edificaciones Esenciales, por ser una estructura universitaria para servicio académico, cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, y por consiguiente el valor asignado de factor de uso será:

**Edificación tipo** : A

**Factor de Uso (U)** : 1,50

**e) Configuración estructural**

Para determinar si la estructura es regular o irregular, se realizó un análisis de las irregularidades de la estructura; tanto en altura, como en planta; siguiendo el procedimiento propuesto por la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030.

## i) Irregularidades estructurales en altura

### a) Irregularidades de rigidez (piso blando)

Según la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 se presenta irregularidad de piso blando, cuando la suma de las áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte de un determinado entrepiso, es menor que el 85% de la correspondiente suma de las áreas del entrepiso inmediato superior; o es menor que el 90% del promedio de la suma de las áreas de los tres pisos superiores. Además para ello se debe considerar que para pisos de altura diferente se debe multiplicar los valores anteriores por  $(h_i/h_d)$  donde  $h_d$  es la altura diferente de piso y  $h_i$  es la altura típica de piso.

Por ello para verificar la irregularidad de rigidez se procedió como sigue:

Tabla 24. Cálculo de las áreas totales de las columnas por piso

Piso	N° de columnas	Dimensión		Área (m <sup>2</sup> )
		b (m)	h (m)	
1	28	0,30	0,60	5,04
2	28	0,30	0,60	5,04
3	28	0,30	0,60	5,04

#### (1) Primera condición. Existe irregularidad si:

$$\sum \text{Área 1er Piso} \left( \frac{h_2}{h_1} \right) < 85\% \sum \text{Área 2do Piso} \quad (34)$$

$$(5,04) \left( \frac{3,50}{3,70} \right) > 85\%(5,04)$$

4,768 > 4,284 → No existe irregularidad

$$\sum \text{Área 2do Piso} \left( \frac{h_3}{h_2} \right) < 85\% \sum \text{Área 3er Piso} \quad (35)$$

$$(5,04) \left( \frac{3,50}{3,50} \right) > 85\%(5,04)$$

5,040 > 4,284 → No existe irregularidad

$$\sum \text{Área 2do Piso} \left( \frac{h_{3'}}{h_2} \right) < 85\% \sum \text{Área 3er Piso} \quad (36)$$

$$(5,04) \left( \frac{4,86}{3,50} \right) > 85\%(5,04)$$

6,998 > 4,284 → No existe irregularidad

**(2) Segunda condición. Existe irregularidad si:**

$$\Sigma \text{Área 1er Piso} \left( \frac{h_i}{h_d} \right) < 90\% \Sigma \frac{\text{Área 2do y 3er Piso}}{2} \quad (37)$$

$$(5,04) \left( \frac{3,50}{3,70} \right) > 90\%(5,04)$$

4,768 > 4,536 → No existe irregularidad

$$\Sigma \text{Área 1er Piso} \left( \frac{h_i}{h_d} \right) < 90\% \Sigma \frac{\text{Área 2do y 3er Piso}}{2} \quad (38)$$

$$(5,04) \left( \frac{4,86}{3,70} \right) > 90\%(5,04)$$

6,620 > 4,536 → No existe irregularidad

Luego de realizado el cálculo de las condiciones de irregularidad por rigidez, se determinó que la estructura no presenta irregularidad por rigidez.

**b) Irregularidades de masa**

Se considera una estructura tiene esta irregularidad cuando la masa de un piso, es decir, la carga muerta más la carga viva, es mayor al 150% de la masa de un piso adyacente.

Por ello, para analizar esta irregularidad se procedió de la siguiente forma:

Tabla 25. Cálculo de las masas totales por piso

Piso	Carga muerta (t)	Carga viva (t)	Peso (t)	Masa total (t.s <sup>2</sup> /m)
1	548,28	167,47	715,75	72,96
2	527,66	189,43	717,08	73,10
3	274,69	30,80	305,49	31,14
TOTAL	1 350,63	387,70	1 738,32	177,20

$$M_{P1} > 150\%M_{P2} \quad (39)$$

72,96 < 109,65 → No existe irregularidad

$$M_{P2} > 150\%M_{P3} \quad (40)$$

73,10 > 46,71 → Existe irregularidad

De la evaluación realizada se determinó que la estructura presenta irregularidad de masa.

**c) Irregularidad geométrica vertical**

Existe irregularidad geométrica vertical cuando la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales de determinado nivel es mayor al 130% de la correspondiente dimensión en un piso adyacente.

$$D_{1x} = 33,30 \text{ m}$$

$$D_{2x} = 33,30 \text{ m}$$

$$D_{3x} = 34,70 \text{ m}$$

$$D_{1x} > 130\% D_{2x} \quad (41)$$

$$33,30 < 43,29 \rightarrow \text{No existe irregularidad}$$

$$D_{2x} > 130\% D_{3x} \quad (42)$$

$$33,30 < 45,11 \rightarrow \text{No existe irregularidad}$$

$$D_{1y} = 20,00 \text{ m}$$

$$D_{2y} = 20,00 \text{ m}$$

$$D_{3y} = 21,18 \text{ m}$$

$$D_{1y} > 130\% D_{2y} \quad (43)$$

$$20,00 < 26,00 \rightarrow \text{No existe irregularidad}$$

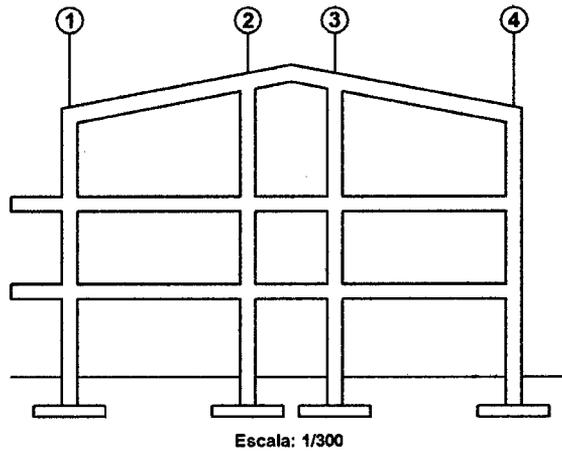
$$D_{2y} > 130\% D_{3y} \quad (44)$$

$$20,00 < 27,534 \rightarrow \text{No existe irregularidad}$$

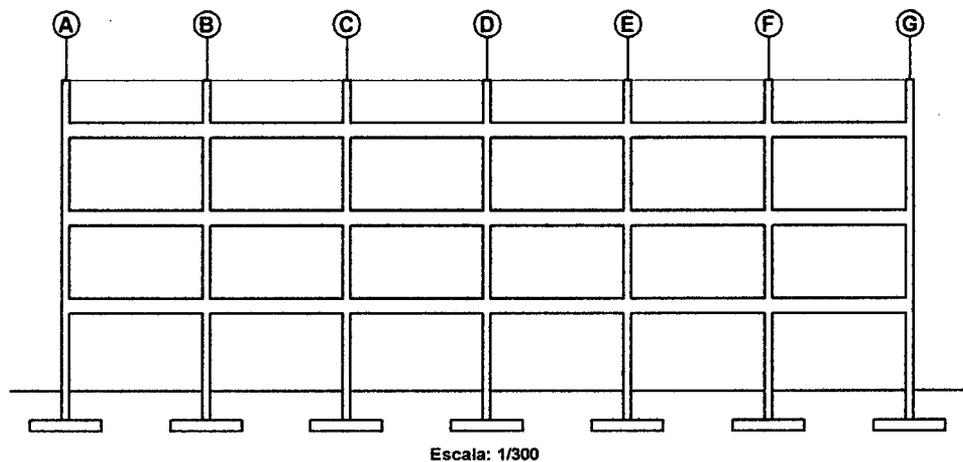
En este caso se determinó que no existe irregularidad geométrica vertical.

**d) Discontinuidad en los sistemas resistentes**

La edificación no tiene desalineamiento de elementos verticales, ya que los elementos verticales son continuos desde la cimentación, por lo tanto concluimos que es una estructura que no tiene discontinuidad en los sistemas resistentes. Tal como se aprecia en la Fig 21 y 22.



**Figura 21. Elevación de pórtico principal del Edificio Principal de la UNC - Sede Jaén**



**Figura 22. Elevación de pórtico secundario del Edificio Principal de la UNC - Sede Jaén**

## ii) Irregularidades estructurales en planta

### 1) Irregularidad torsional

Esta irregularidad se da en caso de diafragmas rígidos en los que el desplazamiento promedio de algún entrepiso exceda del 50% del máximo permisible (0,007). En cualquiera de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, en un extremo del edificio, es mayor que 1,30 veces el promedio de este desplazamiento relativo máximo con el desplazamiento relativo que simultáneamente se obtiene en el extremo opuesto.

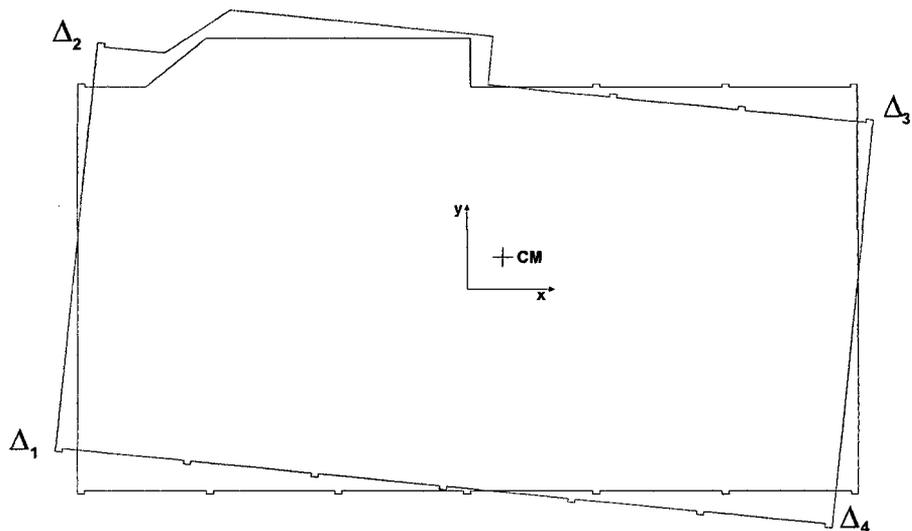


Figura 23. Desplazamiento de esquinas del diafragma rígido

A continuación, se presenta el análisis realizado para comprobar si los desplazamientos de las esquinas, superan el 30% del desplazamiento del centro de masa (CM) en la dirección X-X e Y-Y (Tabla 26 y 27).

Tabla 26. Desplazamientos de esquina en la dirección X-X

Piso	Desplazamientos (m)				
	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$\Delta_{CM}$
1	0,270	0,294	0,294	0,270	0,284
2	0,368	0,403	0,403	0,368	0,388
3	0,414	0,455	0,455	0,414	0,438

Piso	Desplazamientos (%)			
	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$
1	95,24	103,43	103,43	95,24
2	94,79	103,76	103,76	94,79
3	94,50	103,97	103,97	94,50

Tabla 27. Desplazamientos de esquina en la dirección Y-Y

Piso	Desplazamientos (m)				
	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$\Delta_{CM}$
1	0,075	0,075	0,139	0,139	0,089
2	0,115	0,115	0,212	0,212	0,138
3	0,140	0,140	0,257	0,257	0,168

Piso	Desplazamientos (%)			
	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$
1	84,81	84,81	156,27	156,27
2	83,80	83,80	154,06	154,06
3	83,38	83,38	152,88	152,88

De acuerdo a los desplazamientos hallados se puede concluir que en la dirección Y-Y, dichos desplazamientos superan el 30% del desplazamiento del centro de masa (CM), por lo tanto existe irregularidad torsional.

Además, de acuerdo a las derivas halladas en las tablas 29 y 30 del análisis espectral que se muestran más adelante, podemos concluir que en ambas direcciones, dichos desplazamientos son mayores que el 50% del máximo indicado por la norma, por lo tanto existe irregularidad torsional.

## **2) Esquinas entrantes**

Esta irregularidad se da cuando la estructura tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que el 20% de la correspondiente dimensión total en planta.

En la edificación estudiada no existen esquinas entrantes.

## **3) Discontinuidad de diafragma**

Esta irregularidad se presenta cuando existen discontinuidades abruptas o variaciones de rigidez en el diafragma, incluyendo áreas abiertas mayores a 50% del área bruta del diafragma.

$$\text{Área bruta } (A_b) = 617,00 \text{ m}^2$$

$$\text{Área abierta } (A_a) = 0,94 \text{ m}^2$$

$$A_b > 150\%(A_a) \quad (45)$$

$$617,00 > 50\%(0,94)$$

$$617,00 > 0,49 \rightarrow \text{No existe irregularidad}$$

En nuestro edificio no hay este tipo de discontinuidades, ya que el diafragma rígido se mantiene a lo largo de toda la losa sin ser interrumpido seriamente, salvo por un pequeño ducto donde se pasa las tuberías.

En conclusión podemos decir que la estructura de nuestro edificio es irregular.

**f) Sistema estructural y coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R)**

Nuestra estructura está constituida por un sistema estructural aporticado de concreto armado, por ello el factor de reducción (R) que le corresponde es 8. Sin embargo la Norma E.030 también especifica que, si se tratase de un edificio irregular, éste valor será multiplicado por  $\frac{3}{4}$ , por lo que tendremos:

$$R = \left(\frac{3}{4}\right) \times 8 = 6$$

**3.3.7 Análisis sísmico de la edificación sin sistemas de disipación de energía**

**a) Procedimiento para la modelación estructural**

- 1) La modelación estructural Se realizó utilizando el programa de cómputo SAP V.15.
- 2) Para empezar con el modelamiento, primero se empezó poniendo las unidades (Tonf, m, C); luego se eligió la opción File y se seleccionó la opción New model; en esta ventana se eligió la opción 3D Frames.

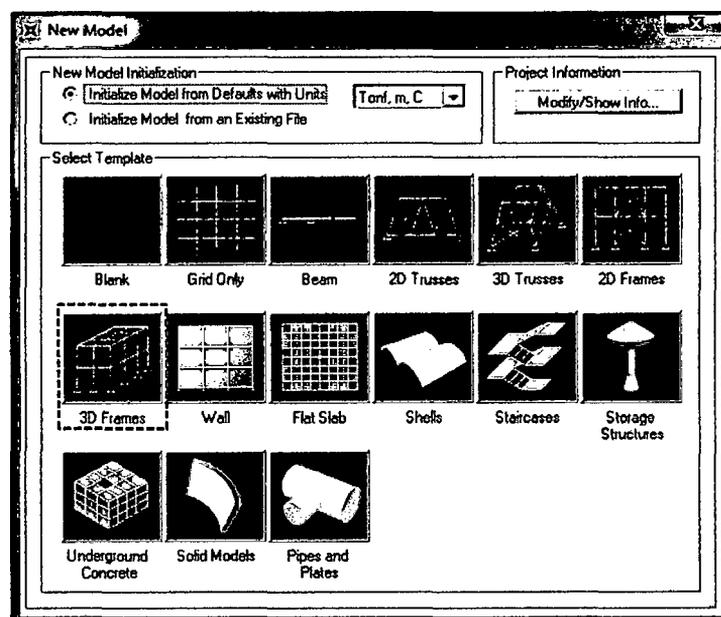


Figura 24. Selección del modelo

- 3) Una vez seleccionado el modelo 3d Frames, se procedió a entrar los datos de la estructura en la opción Open Frame Building Dimensions; en este caso por ser un estructura con diferentes dimensiones; se hizo click en Edit Grid, en esta ventana se entró los datos que se muestran en la Fig 25. Luego hizo click en Ok y Ok.

Define Grid System Data

Edit Format

System Name: CSYS1 Units: Torf. m. C

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	-16.5	Primary	Show	End	
2	B	-11.	Primary	Show	End	
3	C	-5.5	Primary	Show	End	
4	D	0.	Primary	Show	End	
5	E	5.5	Primary	Show	End	
6	F	11.	Primary	Show	End	
7	G	16.5	Primary	Show	End	
8						

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	-8.7	Primary	Show	Start	
2	2	-1.7	Primary	Show	Start	
3	3	1.7	Primary	Show	Start	
4	4	8.7	Primary	Show	Start	
5						
6						
7						
8						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	Z1	0.	Primary	Show	End	
2	Z2	3.7	Primary	Show	End	
3	Z3	7.2	Primary	Show	End	
4	Z4	10.7	Primary	Show	End	
5						
6						
7						
8						

Display Grids as:  Ordinates  Spacing

Hide All Grid Lines

Glue to Grid Lines

Bubble Size: 1.25

Reset to Default Color

Reorder Ordinates

Locate System Origin...

OK Cancel

Figura 25. Datos de las dimensiones de la estructura

- 4) Luego hacemos click en el fondo y seleccionamos la opción Edit Grid Data/ Modify/ Show System, y entramos los datos de los ejes auxiliares para poder dibujar la estructura; los cuales se muestran en la Fig 26, luego se hizo click en Ok y Ok.

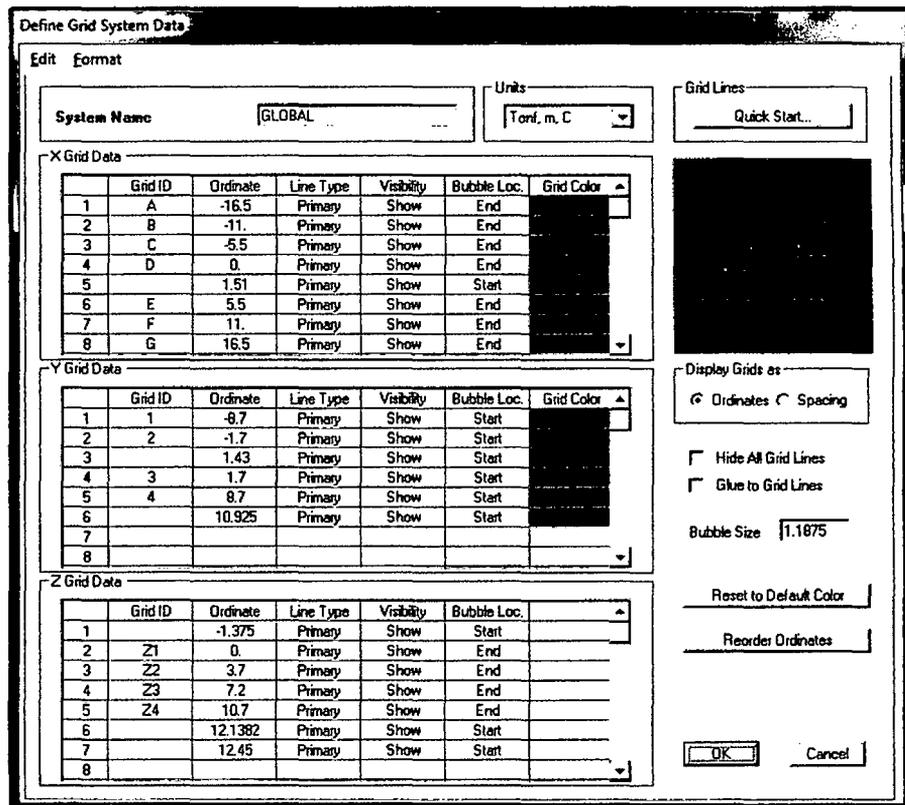


Figura 26. Datos finales de los ejes auxiliares

- 5) Con ello dibujamos a la estructura, una vez dibujada la estructura se procedió a seleccionar y mover los nudos de la zapata a una altura  $z = -1,375$ ; ya que para esta modelación se consideró la altura de la cimentación; esto se logró con la opción Edit/ Move, este procedimiento se muestra en la Fig 27. Después se procedió a empotrar dichos nudos con la opción Assign/ Joint/ Restraints, la cual se muestra en la Fig 28. Por último el modelo dibujado considerando la cimentación se muestra en la Fig 29.

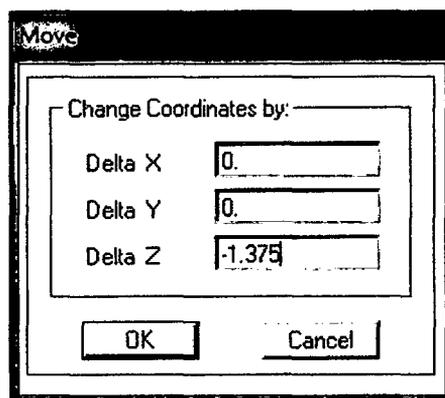


Figura 27. Procedimiento para mover los nudos de la zapata

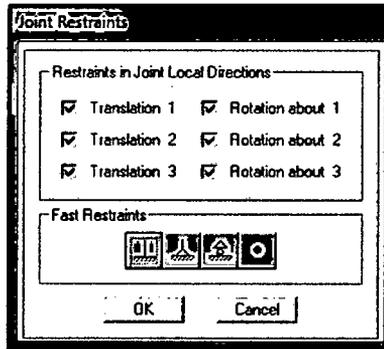
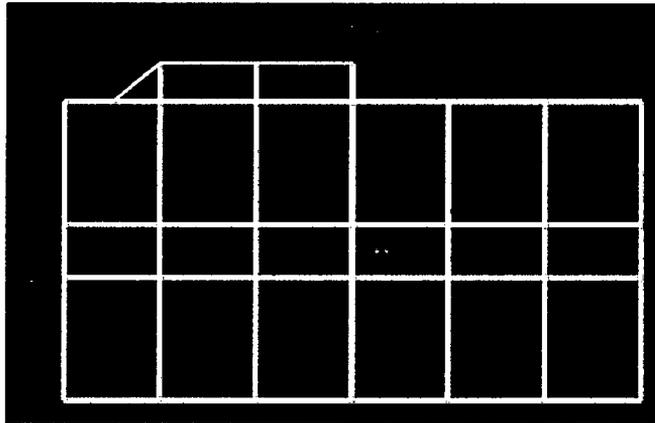
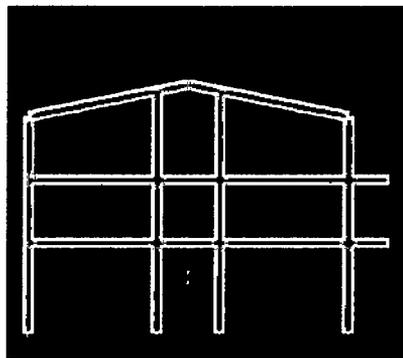


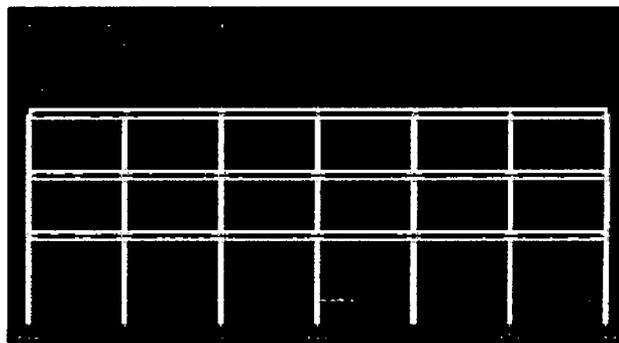
Figura 28. Asignación de las restricciones de los nudos



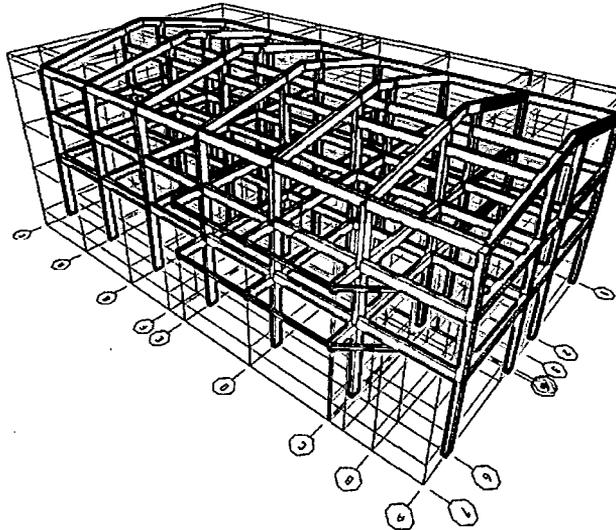
Planta típica



Elevación A-A



Elevación B-B



Modelo 3D

Figura 29. Planta típica, Elevación A-A y Elevación B-B, modelo 3D del Edificio Principal realizado con el programa SAP

- 6) Después se define las propiedades del concreto, mediante la opción Materials, en esta ventana se seleccionó la propiedad 4 000 Psi y se modificó esta propiedad entrando con la opción Show Modify Material; las propiedades concreto ( $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ) utilizado para el diseño se muestra en la Fig 30.

Material Property Data	
<b>General Data</b>	
Material Name and Display Color	CONCRETO 210 <input type="checkbox"/>
Material Type	Concrete
Material Notes	Modify/Show Notes...
<b>Weight and Mass</b>	
Weight per Unit Volume	3
Mass per Unit Volume	0.
<b>Units</b>	
	Tonf, m. C
<b>Isotropic Property Data</b>	
Modulus of Elasticity, E	2173706.5
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	905711.
<b>Other Properties for Concrete Materials</b>	
Specified Concrete Compressive Strength, $f_c$	2100.
<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
OK Cancel	

Figura 30. Propiedades del concreto

- 7) Luego se definió las secciones de las vigas y columnas, mediante la opción Define/ Section Properties/ Frame Sections/ Add New Property/ Concrete/ Rectangular (En esta ventana se ingresa los datos de las secciones); estos datos se muestran en la Fig 31. Además en estas secciones se consideró la presencia de secciones agrietadas, considerando para ello factores de reducción de rigidez de  $0,35 \cdot l_g$  para las vigas y  $0,70 \cdot l_g$  para las columnas; esto se realizó entrando a la opción Set Modifiers como se muestra en la Fig 32.

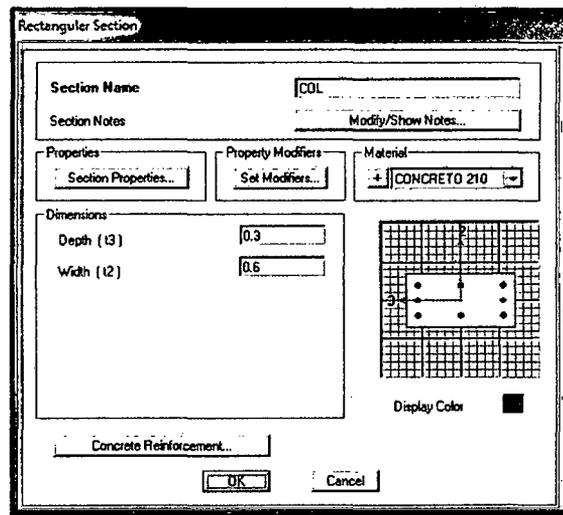


Figura 31. Definición de las secciones de las columnas

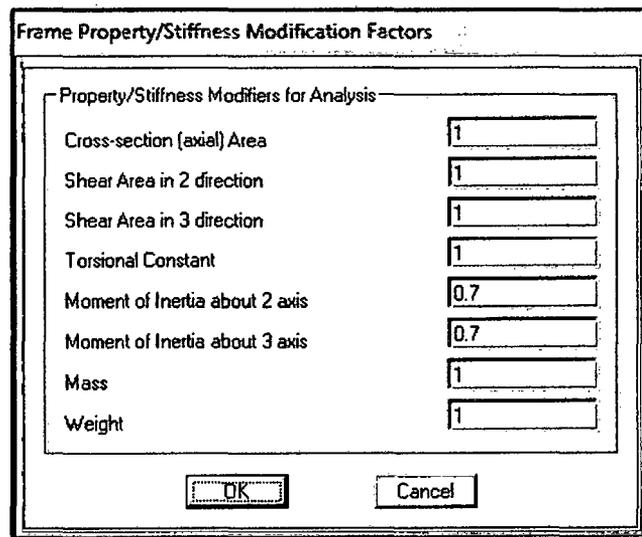


Figura 32. Definición de las secciones agrietadas de las columnas

- 8) Luego se asignó dichas secciones, mediante la opción Assign/ Frame/ Frame Sections; en esta ventana se elige la propiedad

(COL) y se hace click en Ok; este procedimiento se ve en la Fig 33.

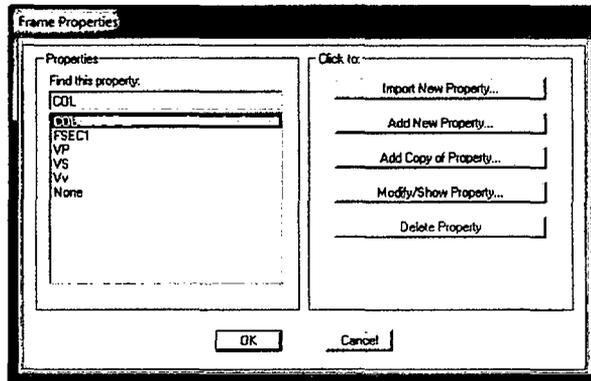


Figura 33. Asignación de las secciones de las columnas

- 9) Después se procedió a modelar la unión de los nudos de las zapatas con las columnas y de las columnas con las vigas, se utilizaron los brazos rígidos; para definir los brazos rígidos se entró a la opción Assign/ Frame/ End (Length) Offset, los datos ingresados de los brazos rígidos se pueden ver en la Fig 33.

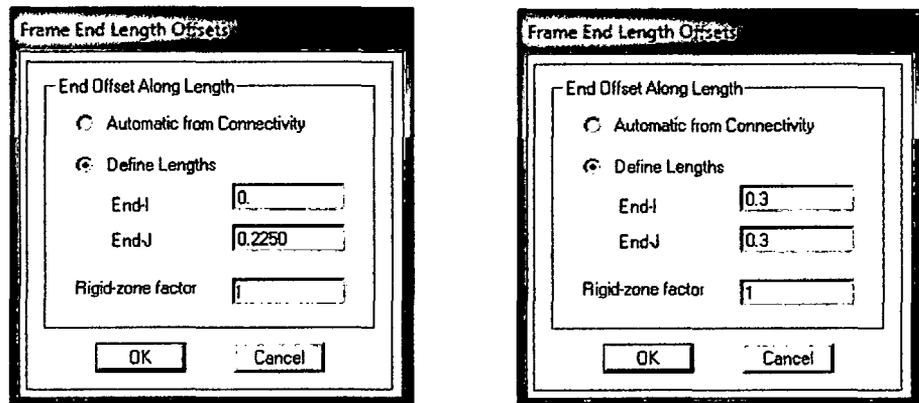


Figura 34. Definición de los brazos rígidos de la unión de los nudos de la zapatas con las columnas y de la unión de las vigas principales y columnas

- 10) Para continuar con el modelamiento se procedió a definir los techos de cada nivel, para ello se consideró a los techos de cada nivel como diafragmas rígidos, en cada diafragma rígido se ubicó un centro de masa final. La ubicación de este centro de masa final; se logró añadiendo a los centros de masas en X e Y (Calculados con las ecuaciones 22 y 23), una excentricidad accidental X e Y (Calculadas con las ecuaciones 24 y 25).

11) Por ello, para iniciar con la creación del diafragma rígido, se procedió a dibujar los nudos de los centros de masas finales de cada techo, mediante la opción Draw/ Draw Special Joint; luego a dichos nudos se le asigno las restricciones respectivas, mediante la opción Assign/ Joint Restraints, como se muestra en la Fig 35.

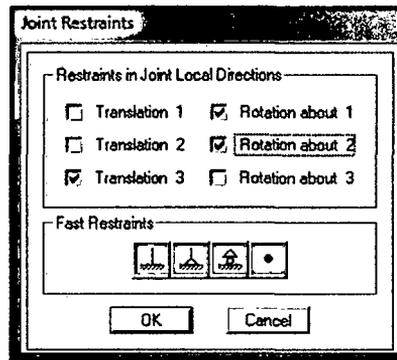


Figura 35. Asignación de restricciones de los nudos de centros de masas

12) Luego para continuar con la creación del diafragma rígido, se procedió a definir la contracción de nudos, mediante la opción Define/ Joint Constraints; en esta ventana, en la opción Choose Constraint Type to Add, se eligió la alternativa Diaphragm y hizo click en Add New Constraint, y se procedió a crear los techos, este procedimiento se puede apreciar en la Fig 36. Luego se seleccionó todos los nudos de cada nivel incluido el centro de masa final de cada nivel y se le asignó su respectivo techo, mediante la siguiente opción Assign/ Constraint, este procedimiento se muestra en la Fig 37.

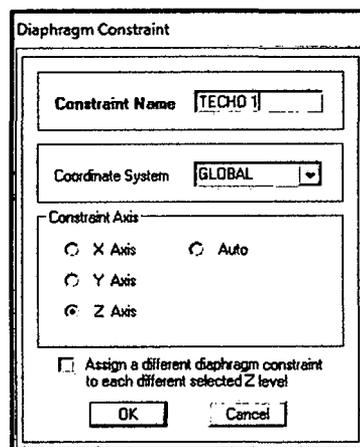


Figura 36. Creación de los diafragmas rígidos

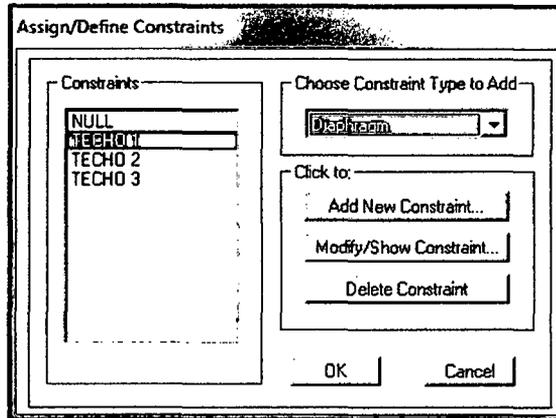


Figura 37. Asignación de los diafragmas rígidos

- 13) Enseguida se procedió a introducir las masas traslacionales y rotacionales en los nudos de los centros de masas finales de cada nivel, utilizando los datos de Tabla 23, este procedimiento para el primer nivel se puede en la Fig 38.

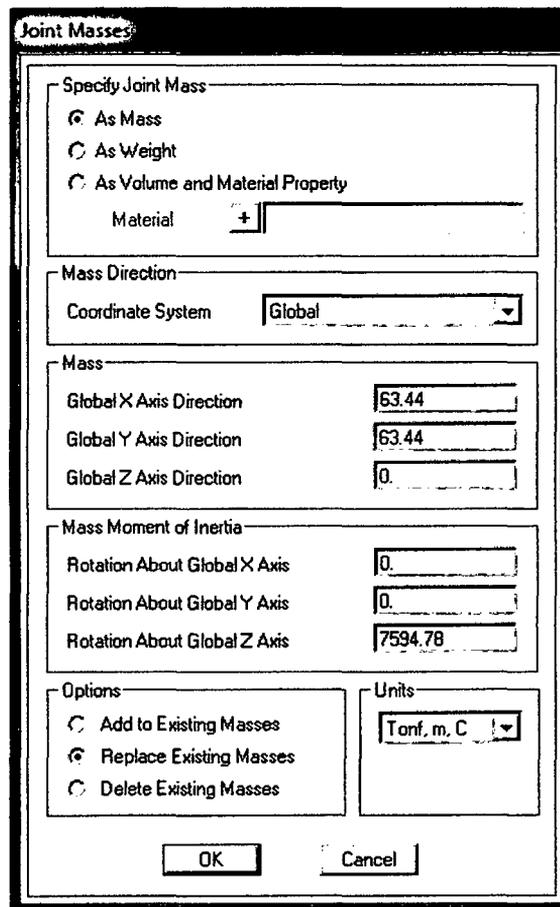


Figura 38. Introducción de las masas traslacionales y rotacionales

- 14) Con todo lo anterior quedo definida las características y propiedades de toda la edificación, ahora para iniciar con el

análisis sísmico modal, se procedió a borrar los patrones de carga, mediante la opción Define/ Load Patterns/ Delete Load Pattern.

- 15) Luego se procedió a definir las características del análisis dinámico modal, para este análisis se consideró tres grados de libertad por piso, por lo tanto, para el análisis de este edificio de tres niveles, se consideró 9 modos de vibración, estos modos fueron introducidos al programa mediante la opción Define/ Load Cases/ Modal/ Modify/ Show Load Case; además se consideró un análisis modal de vector propio, como muestra la Fig 39.

The screenshot shows the 'Load Case Data - Modal' dialog box. It is divided into several sections:

- Load Case Name:** MODAL, with a 'Set Def Name' button.
- Notes:** Modify/Show...
- Load Case Type:** Modal, with a 'Design...' button.
- Stiffness to Use:** Radio buttons for 'Zero Initial Conditions - Unstressed State' (selected) and 'Stiffness at End of Nonlinear Case'. An 'Important Note' states: 'Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case'.
- Number of Modes:** Input fields for 'Maximum Number of Modes' (9) and 'Minimum Number of Modes' (1).
- Loads Applied:** A checkbox for 'Show Advanced Load Parameters' (unchecked).
- Other Parameters:** Input fields for 'Frequency Shift (Center)' (0), 'Cutoff Frequency (Radius)' (0), and 'Convergence Tolerance' (1.000E-09). A checked checkbox for 'Allow Automatic Frequency Shifting'.
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom right.

Figura 39. Definición del análisis modal de la estructura

## b) Análisis espectral

### i) Espectro de análisis

#### 1) Parámetros sísmicos

Los parámetros sísmicos establecidos anteriormente se resumen en la tabla 28:

Tabla 28. Parámetros sísmicos

Parámetros	Descripción	Valores
Z	Factor de zona (Zona 3)	0,40
U	Factor de uso (Edificación esencial)	1,50
S	Factor de suelo (Suelo flexible)	1,40
Tp	Factor de suelo (Suelo flexible)	0,90
Rx = Ry	Coefficiente de reducción de la fuerza sísmica	6,00

## 2) Factor de amplificación sísmica (C')

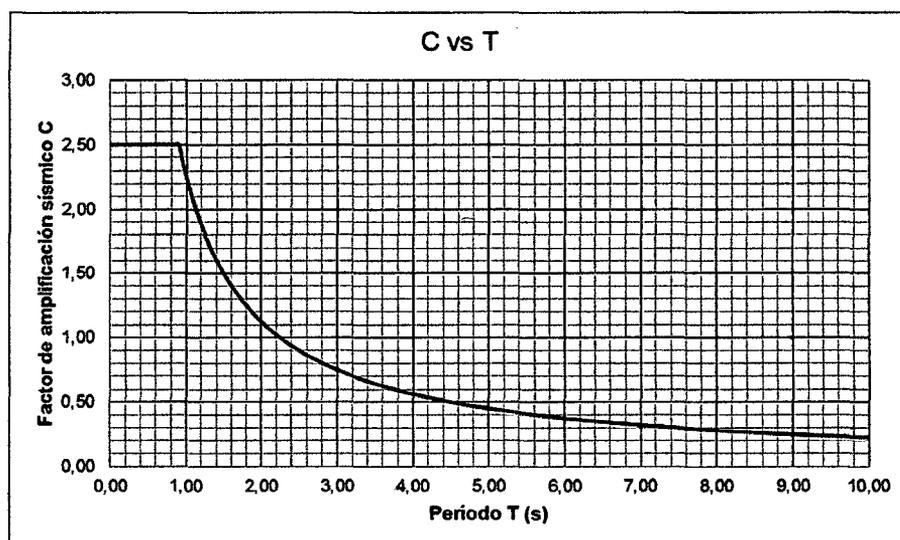


Figura 40. Espectro (C' vs T)

## 3) Factor de escala (F.E.)

Con los parámetros sísmicos ya establecidos (Tabla 27), obtenemos el factor de escala, con la siguiente fórmula (Villareal 2013):

$$F.E. = \frac{Z.U.S}{R} \cdot g \quad (46)$$

$$F.E. = 1,373$$

## 4) Aceleración espectral

Con el factor de escala (F.E.) y con factor de amplificación sísmica obtenemos la aceleración espectral con la siguiente fórmula (MVCS 2006):

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g \quad (47)$$

$$S_a = (F.E.) \cdot (C) \quad (48)$$

## ii) Análisis espectral con SAP

- 1) El análisis sísmico espectral se realizó con el fin de determinar si la estructura posee irregularidad torsional, para ello se procedió como se indicó en el procedimiento de la modelación estructural y además de ello para este análisis se consideró un espectro, mediante la opción Define/ Functions/ Response Spectrum/ Add New Fuction/ Convert to Use Defined, en esta última ventana se ingresa los datos del espectro C' vs T, como se muestra en la Fig 41.

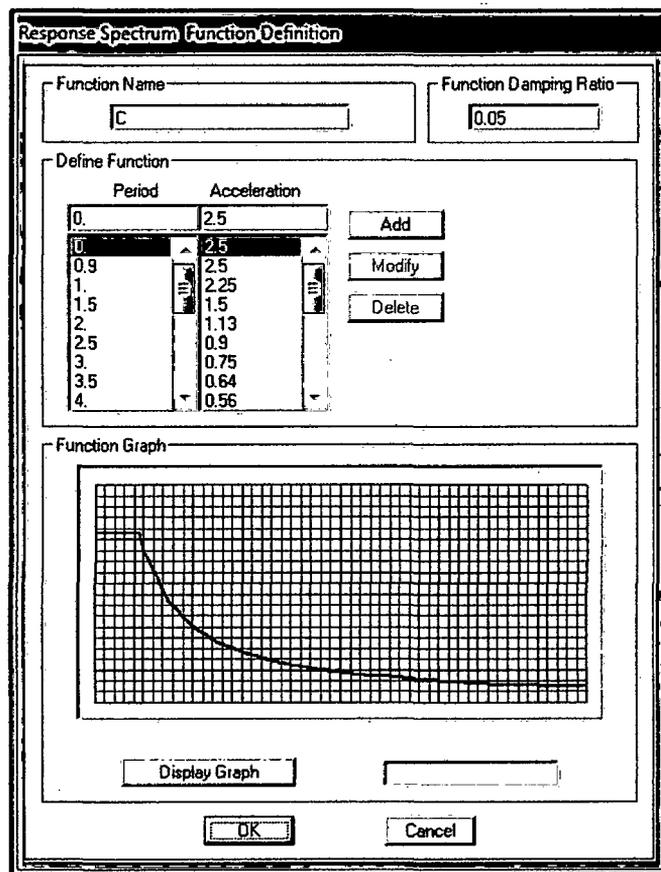


Figura 41. Espectro de diseño

- 2) Luego de creado el espectro se procedió a definir los casos de cargas, como sigue Define/ Load Cases/ Add new Case, y en la Fig 42 se puede apreciar este procedimiento. Estos casos de cargas se definieron para la dirección X e Y.

**Load Case Data - Response Spectrum**

Load Case Name:  Set Def Name Modify/Show...

Notes:  Modify/Show...

Load Case Type:  Design...

Modal Combination:

CQC GMC f1:  GMC f2:  Periodic + Rigid Type:

SRSS

Absolute

GMC

NRC 10 Percent

Double Sum

Directional Combination:

SRSS

CQC3

Absolute

Scale Factor:

Modal Load Case:

Use Modes from this Modal Load Case:

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	C	1.373
Accel	U1	C	1.373

Add Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

Modal Damping:  Modify/Show...

OK Cancel

Figura 42. Definición de los casos de carga (Sismo X+)

- 3) Por último se procedió a definir las combinaciones de cargas, como sigue Define/ Load Combinations/ Add new Combo, y en la Fig 43 se puede apreciar este procedimiento. Estas combinaciones de cargas se definieron para la dirección X e Y.

**Load Combination Data**

Load Combination Name (User-Generated):

Notes:  Modify/Show Notes...

Load Combination Type:

Options:

Convert to User Load Combo  Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results:

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
SISMO X+	Response Spectrum	4.5
SISMO X+	Response Spectrum	4.5

Add Modify Delete

OK Cancel

Figura 43. Definición de las combinaciones de carga (Sismo X+)

### iii) Respuesta del edificio sin sistemas de disipación de energía

A continuación, se muestran los desplazamientos laterales y las derivas máximas halladas después de realizado el análisis espectral:

#### 1) Desplazamientos laterales y derivas máximas ( $D_{m\acute{a}x}$ )

La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 establece que los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por  $0,75 \cdot R$  los resultados obtenidos del análisis espectral, para nuestro caso el programa SAP mediante las combinaciones de cargas nos da los desplazamientos laterales ya multiplicados por el factor  $0,75 \cdot R$ . A continuación se muestra los desplazamientos laterales y las derivas máximas obtenidas en la tabla 29 y 30:

Tabla 29. Desplazamientos laterales y derivas en la dirección X-X

Piso	Desplazamientos laterales (m)	H (m)	Desplazamiento relativo	Deriva	Deriva R.N.E	Cumple
3	0,573	4,91	0,072	0,0147	0,007	NO
2	0,501	3,50	0,148	0,0423	0,007	NO
1	0,353	5,08	0,353	0,0694	0,007	NO

Tabla 30. Desplazamientos laterales y derivas en la dirección Y-Y

Piso	Desplazamientos laterales (m)	H (m)	Desplazamiento relativo	Deriva	Deriva R.N.E	Cumple
3	0,319	4,91	0,070	0,0143	0,007	NO
2	0,249	3,50	0,099	0,0283	0,007	NO
1	0,150	5,08	0,150	0,0295	0,007	NO

Las derivas máximas ( $D_{m\acute{a}x}$ ) en la dirección X e Y son 0,0694 y 0,0295 respectivamente. Estos valores son mayores al valor de 0,007; que es el valor máximo de deriva para edificios aporricados de concreto armado, establecido por la norma peruana sismorresistente E.030.

## c) Análisis tiempo - historia

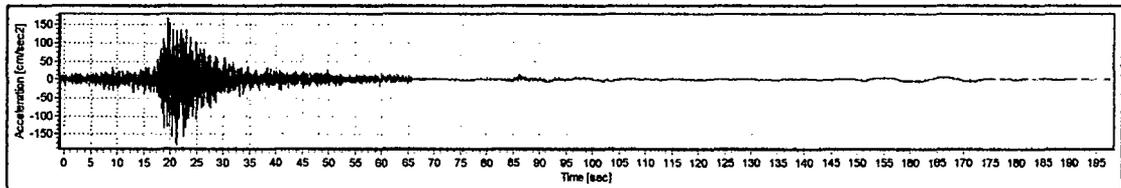
### i) Registros sísmicos

La amenaza sísmica será representada por registros tiempo - historia de sismos ocurridos. Para este trabajo siguiendo las recomendaciones del ASCE se utilizará 3 pares de registros sísmicos. Todos estos registros serán normalizados a una aceleración máxima de 0,4g, los registros sísmicos utilizados se muestran a continuación:

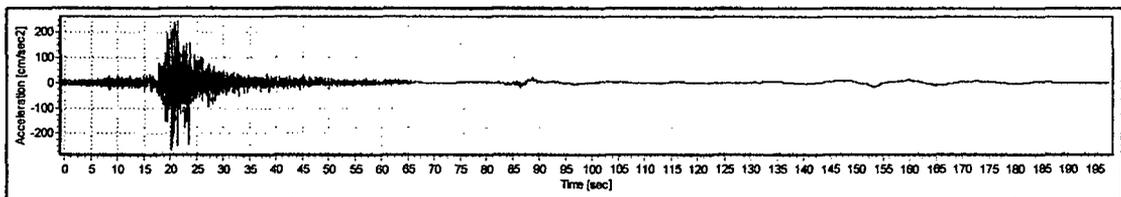
Tabla 31. Datos de registros sísmicos

Lugar	Fecha	Componente	Aceleración máxima (cm/s <sup>2</sup> )	Factor de escala (F.E.)	Intervalo (s)	N° puntos
Lima	17 de octubre de 1966	E-W	-180,592	$2,173 \times 10^{-2}$	0,02	9 882
		N-S	-269,336	$1,457 \times 10^{-2}$	0,02	9 882
Chimbote	31 de mayo de 1970	E-W	-104,800	$3,744 \times 10^{-2}$	0,02	2 259
		N-S	-97,800	$4,012 \times 10^{-2}$	0,02	2 259
Lima	3 de octubre de 1974	E-W	-192,500	$2,038 \times 10^{-2}$	0,02	4 899
		N-S	179,000	$2,192 \times 10^{-2}$	0,02	4 899

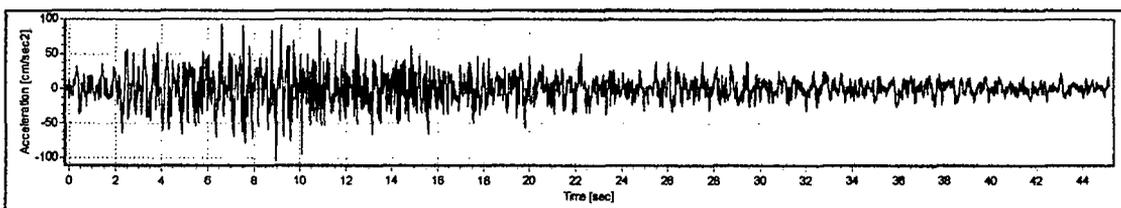
Fuente: CISMID 2014



Acelerograma Lima 66 E-W



Acelerograma Lima 66 N-S



Acelerograma Chimbote 70 E-W

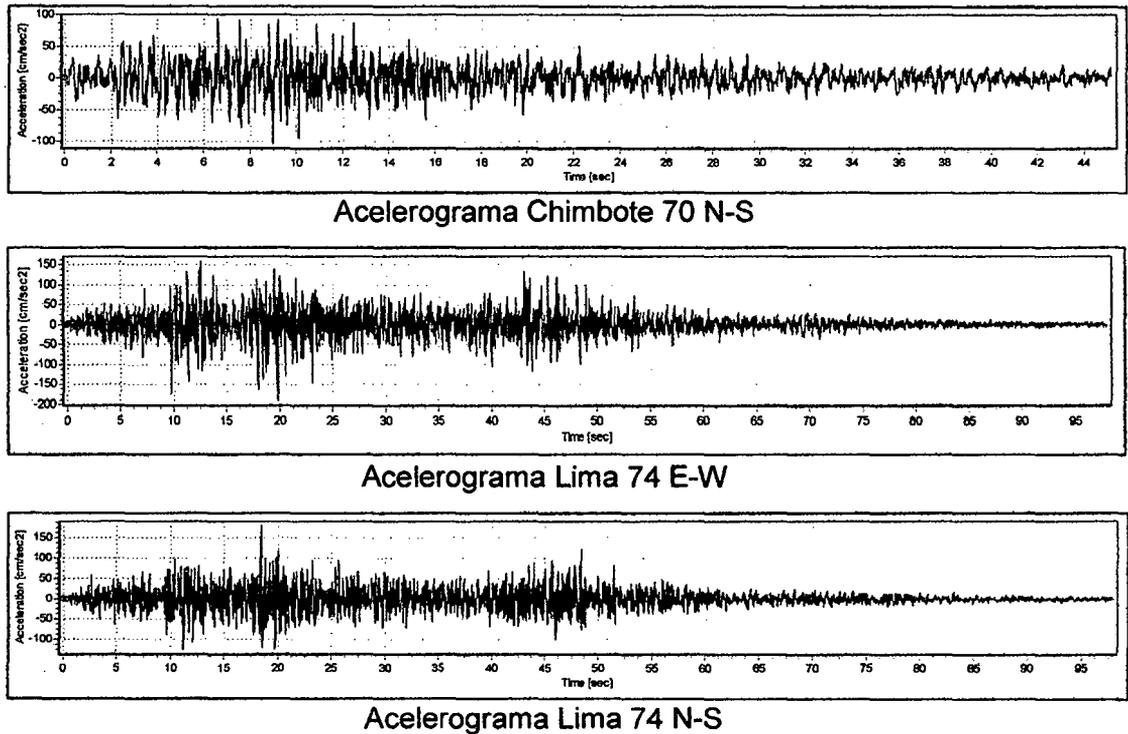


Figura 44. Registros sísmicos

Fuente: CISMID 2014

## ii) Análisis tiempo - historia con el SAP

- 1) El análisis tiempo - historia se realizó con el fin de determinar las derivas máximas ( $D_{m\acute{a}x}$ ), para ello se procedió como se indicó en el procedimiento de la modelación estructural y además de ello para este análisis se consideró la función tiempo - historia, mediante la opción Define/ Functions/ Tiempo History/ From File, en esta última ventana se selecciona el archivo del acelerograma, en la Fig 45 se muestra este procedimiento. Estas funciones se definieron para los sismos Lima 1966 (E-W y N-S), Chimbote 1970 (E-W y N-S) y Lima 1974 (E-W y N-S).

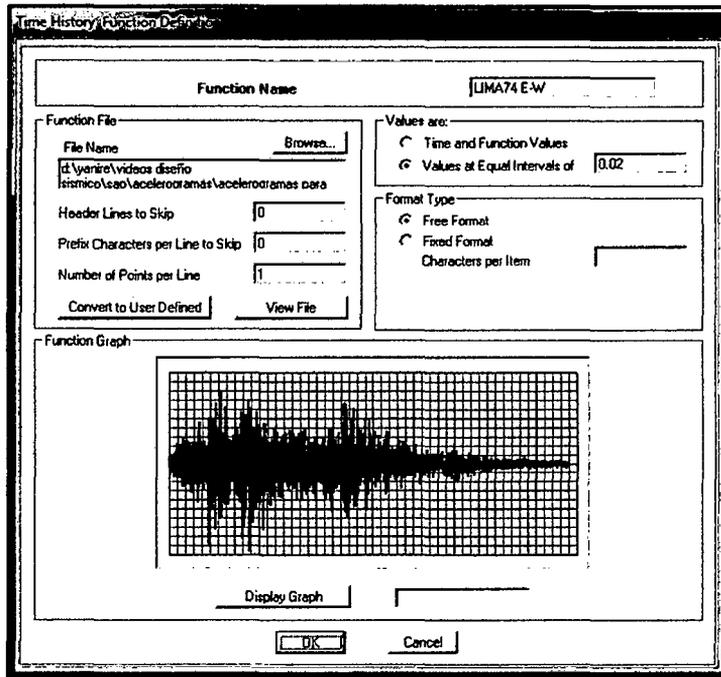


Figura 45. Definición de la función tiempo – historia (Lima 74 E-W)

- 2) Luego de creada la función tiempo – historia se procedió a definir los casos de cargas, como sigue Define/ Load Cases/ Add new Case, y en la Fig 46 se puede apreciar este procedimiento. Estos casos de cargas se definieron para los sismos Lima 1966 (E-W y N-S), Chimbote 1970 (E-W y N-S) y Lima 1974 (E-W y N-S).

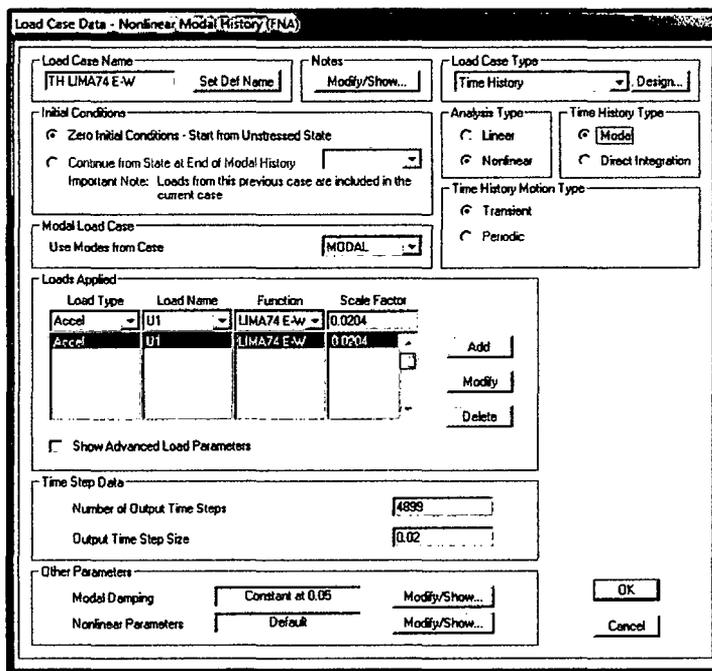


Figura 46. Definición los casos de cargas tiempo – historia (Lima 74 E-W)

### iii) Respuesta del edificio sin sistemas de disipación de energía

A continuación, se muestran los desplazamientos laterales y las derivas máximas halladas después de realizado el análisis:

#### 1) Desplazamientos laterales

Los desplazamientos laterales hallados se muestran en las tablas 32 y 33.

Tabla 32. Desplazamiento laterales (m) por nivel y por registros tiempo - historia en la dirección X-X

Piso	Registros tiempo - historia						Max
	Lima 1966		Chimbote 1970		Lima 1974		
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	0,023	0,029	0,047	0,041	0,058	0,033	0,058
2	0,033	0,036	0,068	0,052	0,080	0,050	0,080
3	0,038	0,038	0,079	0,060	0,092	0,061	0,092

Tabla 33. Desplazamiento laterales (m) por nivel y por registros tiempo - historia en la dirección Y-Y

Piso	Registros tiempo - historia						Max
	Lima 1966		Chimbote 1970		Lima 1974		
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	0,021	0,022	0,030	0,042	0,038	0,019	0,042
2	0,038	0,037	0,051	0,068	0,063	0,030	0,068
3	0,054	0,051	0,068	0,088	0,081	0,042	0,088

#### 2) Derivas máximas ( $D_{m\acute{a}x}$ )

Las derivas obtenidas se muestran en las tablas 34 y 35.

Tabla 34. Derivas (‰) por nivel y por registros tiempo - historia en la dirección X-X

Piso	Altura (m)	Registros tiempo - historia						$D_{m\acute{a}x}$
		Lima 1966		Chimbote 1970		Lima 1974		
		E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	5,08	4,56	5,75	9,34	8,10	11,38	6,47	11,38
2	3,50	2,82	2,04	5,87	3,16	6,48	4,87	6,48
3	4,91	1,03	0,29	2,28	1,65	2,39	2,27	2,39

Tabla 35. Derivas (‰) por nivel y por registros tiempo - historia en la dirección Y-Y

Piso	Altura (m)	Registros Tiempo - Historia						D <sub>máx</sub>
		Lima 1966		Chimbote 1970		Lima 1974		
		E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	5,08	4,13	4,32	5,84	8,30	7,41	3,67	8,30
2	3,50	4,80	4,33	6,17	7,50	7,29	3,34	7,50
3	4,91	3,29	2,77	3,35	3,50	3,60	2,40	3,60

Las derivas máximas (D<sub>máx</sub>) en la dirección X-X e Y-Y se presentan para el sismo Lima 1974 con un valor de 11,38‰ y 8,30‰ respectivamente. Estos valores son mayores al valor de 7,00‰; que es el valor máximo de deriva para edificios aporricados de concreto armado, establecido por la Peruana de Diseño Sismorresistente E.030

### 3.3.8 Elección de los objetivos del desempeño sísmico

Según la clasificación propuesta por el SEAOC Vision 2000 Committee (1995), nuestra edificación es una edificación esencial, por ello, para determinar los objetivos del desempeño sísmico se utilizó la tabla 5 y la tabla 12. Se eligió como objetivos de desempeño un **sismo muy raro** con un nivel de desempeño **resguardo a la vida** y un **estado de daño moderado**.

### 3.3.9 Definición de los objetivos de diseño

#### a) Deriva objetivo

Para poder determinar la deriva objetivo (D<sub>objetivo</sub>), primero se determinó el tipo de edificio aporricado que teníamos, esto se logró usando la tabla 9, resultando así, un edificio tipo CM1. Luego con el edificio tipo CM1 y el estado de daño se eligió la deriva objetivo, la cual se muestra a continuación:

Tabla 36. Descripción de estado de daño y deriva para edificios tipo CM1

Estado de daño	Características principales	Deriva objetivo para edificios CM1
Moderado	La mayoría de columnas y vigas presentan grietas. Algunos elementos como vigas han alcanzado la fluencia. Es evidente la presencia de largas grietas de flexión y en algunos lugares el concreto de recubrimiento se ha desprendido.	5,80%

Fuente: FEMA 1999

La deriva objetivo ( $D_{\text{objetivo}}$ ) seleccionada es de 5,80%.

### b) Reducción de la respuesta sísmica “B”

El factor de reducción de la respuesta sísmica “B” se calculó con la ecuación (7):

$$B = \frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{objetivo}}} \quad (7)$$

$$B_{xx} = 1,96$$

$$B_{yy} = 1,43$$

### e) Amortiguamiento efectivo “ $\beta_{\text{eff}}$ ”

El amortiguamiento efectivo “ $\beta_{\text{eff}}$ ” se calculó usando la ecuación (9):

$$\beta_{\text{eff}} = e^{\left[ \frac{2,31}{0,41} \left( \frac{B-1}{B} \right) + \frac{\ln(5)}{B} \right]} \quad (9)$$

$$\beta_{\text{eff}xx} = 35,89\%$$

$$\beta_{\text{eff}yy} = 16,82\%$$

### f) Amortiguamiento viscoso objetivo “ $B_{\text{visc.}}$ ”

Luego se procedió a calcular el amortiguamiento viscoso objetivo “ $B_{\text{visc.}}$ ” con la ayuda de la ecuación (10):

$$B_{\text{visc.}} = \beta_{\text{eff}} - \beta_0 \quad (10)$$

$$B_{\text{visc.}xx} = 30,89\%$$

$$B_{\text{visc.}yy} = 11,82$$

Pero manteniendo un margen de seguridad y para facilidad de cálculo, se estableció que el amortiguamiento viscoso objetivo "B<sub>visc.</sub>" es:

$$B_{visc.xx} = 32,00\%$$

$$B_{visc.yy} = 23,00\%$$

### 3.3.10 Determinación de la ubicación y número de los dispositivos de disipación de energía en la estructura

Siguiendo las recomendaciones del ASCE, se propuso 8 dispositivos, 4 por cada dirección; ya que con una menor cantidad de dispositivos no se podría cumplir con los objetivos deseado. Además para la determinación de la ubicación de los disipadores, se consideró la funcionalidad de los ambientes de la estructura. Esta ubicación de los disipadores puede observarse en la figuras 47 y 48.

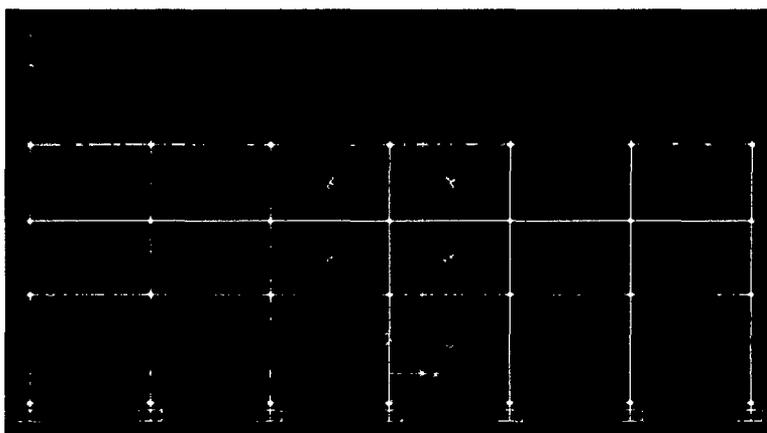


Figura 47. Ubicación de los dispositivos en los pórticos, 1 y 4 (Dirección X-X)

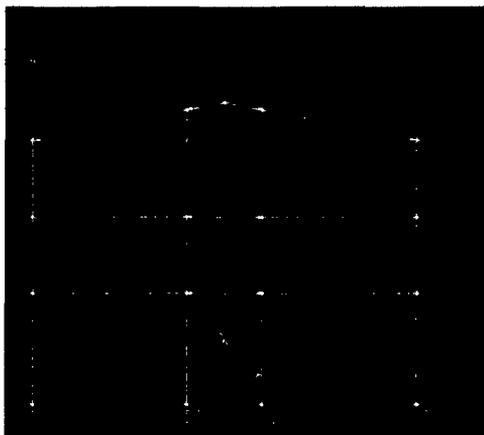


Figura 48. Ubicación de los dispositivos en los pórticos, A y G (Dirección Y-Y)

### 3.3.11 Definición de las propiedades del disipador de energía

#### a) Cálculo preliminar de la rigidez del dispositivo “K” (Rigidez del brazo metálico)

Para el cálculo de la rigidez del brazo metálico se consideró un perfil metálico Round HSS 7,50 x 0,500; cuyas dimensiones y propiedades se muestran en la tabla 37:

Tabla 37. Dimensiones y propiedades del perfil metálico seleccionado

Perfil metálico	Diámetro Exterior (in)	Diámetro Interior (in)	Espesor, t (in)	Área, A (in <sup>2</sup> )	Inercia, I (in <sup>4</sup> )
HSS 7,50 x 0,500	7,50	7,04	0,465	10,30	63,90

Fuente: AISC 2005

Se consideró además para el cálculo las siguientes características específicas:

Módulo de elasticidad del acero	: $E_{ac}$	= 29 000 ksi = $20 \times 10^6$ t/m <sup>2</sup>
Área del perfil metálico	: A	= 10,30 in <sup>2</sup> = $66,45 \times 10^{-4}$ m <sup>2</sup>
Longitudes	: $L_{1^\circ \text{nivel } x}$	= 259,84 in = 6,60 m
	: $L_{2^\circ \text{nivel } x}$	= 255,91 in = 6,50 m
	: $L_{3^\circ \text{nivel } x}$	= 255,91 in = 6,50 m
	: $L_{1^\circ \text{nivel } y}$	= 311,02 in = 7,90 m
	: $L_{2^\circ \text{nivel } y}$	= 307,09 in = 7,80 m
	: $L_{3^\circ \text{nivel } y}$	= 334,65 in = 8,50 m

Con todos estos datos se procedió a calcular la rigidez del brazo metálico mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{EA}{L} \quad (14)$$

La rigidez calculada para cada dirección se muestra en la tabla 38:

Tabla 38. Rigidez del brazo metálico en la dirección X-X e Y-Y

Nivel	Rigidez (Kx)		Rigidez (Ky)	
	(kip/in)	(t/m)	(kip/in)	(t/m)
1	1 149,54	20 137	960,38	16 823
2	1 167,23	20 447	972,69	17 039
3	1 167,23	20 447	892,59	15 636

### b) Coeficiente de amortiguamiento "C"

Para la estimación del coeficiente amortiguamiento "C", se asumió que todos los disipadores de la estructura tienen las mismas propiedades, este coeficiente se calculó tanto para disipadores lineales y no líneas. Además se debe considerar que los valores obtenidos por las fórmulas son referenciales, es decir, son el punto de partida para hallar los valores finales del coeficiente de amortiguamiento "C".

#### a) Para amortiguadores lineales

Para la estimación del coeficiente de amortiguamiento para disipadores lineales se utilizó la ecuación 11.

$$B_{\text{visc.}} = \frac{T \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \text{Cos} \theta_j^2}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (11)$$

El procedimiento del cálculo se detalla en las tablas 39 y 40.

Tabla 39. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento "C" para disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X

Nivel	$\theta_j$	$\phi_i$	$\phi_{rj}$	$m_i$ (t.s <sup>2</sup> /m)	$\text{Cos} \theta_j$	$\phi_{rj}^2 \text{Cos} \theta_j^2$	$m_i \phi_i^2$
1	40,96°	0,6156	0,616	64,43	0,755	0,2161	24,41
2	32,47°	0,8746	0,259	63,44	0,844	0,0477	48,53
3	32,47°	1,0000	0,125	29,57	0,844	0,0112	29,57
$\Sigma$						0,2751	102,51

$$\begin{aligned}
 B_{\text{visc.}} &= 32,00 \% \\
 T &= 1,29 \text{ s} \\
 \Sigma C &= 1 160,38 \text{ t.s/m} \\
 \text{N}^\circ \text{ de disipadores por nivel} &= 4 \\
 C_{XX} &= 290,09 \text{ t.s/m} \\
 C_{YY} &= 290 \text{ t.s/m}
 \end{aligned}$$

Tabla 40. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento "C" para disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y

Nivel	$\theta_j$	$\phi_i$	$\phi_{rj}$	$m_i$ (t.s <sup>2</sup> /m)	$\text{Cos}\theta_j$	$\phi_{rj}^2 \text{Cos}\theta_j^2$	$m_i \phi_i^2$
1	34,30°	0,4713	0,471	64,43	0,826	0,1516	14,31
2	26,57°	0,7828	0,312	63,44	0,894	0,0776	38,88
3	35,04°	1,0000	0,217	29,57	0,819	0,0316	29,57
$\Sigma$						0,2608	82,76

$$B_{\text{visc.}} = 23,00 \%$$

$$T = 0,85 \text{ s}$$

$$\Sigma C = 1\,083,90 \text{ t.s/m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de disipadores por nivel} = 4$$

$$C_{YY} = 270,98 \text{ t.s/m}$$

$$C_{YY} = 270 \text{ t.s/m}$$

Para simplificar el modelo y estandarizar los dispositivos de amortiguamiento se consideró para las direcciones X e Y, un solo valor del coeficiente de amortiguamiento "C", obteniéndose como primera alternativa viable del coeficiente de amortiguamiento "C" para la modelación en el Software, el siguiente valor:

$$C = 270 \text{ t.s/m}$$

**b) Para amortiguadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ )**

Para la estimación del coeficiente de amortiguamiento para disipadores no lineales se utilizó la ecuación 12.

$$B_{\text{visc.}} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \text{Cos}\theta_j^{1+\alpha}}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (12)$$

El procedimiento del cálculo se detalla en las tablas 41 y 42.

Tabla 41. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento "C" para disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X

Nivel	$\theta_j$	$\phi_i$	$\phi_{rj}$	$m_i$ (t.s <sup>2</sup> /m)	$\text{Cos}\theta_j$	$\phi_{rj}^2 \text{Cos}\theta_j^2$	$m_i \phi_i^2$
1	40,96°	0,6156	0,616	64,43	0,755	0,3170	24,41
2	32,47°	0,8746	0,259	63,44	0,844	0,1021	48,53
3	32,47°	1,0000	0,125	29,57	0,844	0,0344	29,57
$\Sigma$						0,4535	102,51

$$B_{\text{visc.}} = 32,00 \%$$

$$T = 1,29 \text{ s}$$

$$\lambda = 3,50$$

$$\omega = 4,86 \text{ rad/s}$$

$$\omega^{2-\alpha} = 10,7295$$

$$A = 0,0985$$

$$A^{1-\alpha} = 0,3139$$

$$\Sigma C = 437,35 \text{ t.s/m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de disipadores por nivel} = 4$$

$$C_{XX} = 109,34 \text{ t.s/m}$$

$$C_{XX} = 110 \text{ t.s/m}$$

Tabla 42. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento "C" para disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y

Nivel	$\theta_j$	$\phi_i$	$\phi_{rj}$	$m_i$ (t.s <sup>2</sup> /m)	$\text{Cos}\theta_j$	$\phi_{rj}^2 \text{Cos}\theta_j^2$	$m_i \phi_i^2$
1	34,30°	0,4713	0,471	64,43	0,826	0,2429	14,31
2	26,57°	0,7828	0,312	63,44	0,894	0,1471	38,88
3	35,04°	1,0000	0,217	29,57	0,819	0,0750	29,57
$\Sigma$						0,4650	82,76

$$B_{\text{visc.}} = 23,00 \%$$

$$T = 0,85 \text{ s}$$

$$\lambda = 3,50$$

$$\omega = 7,43 \text{ rad/s}$$

$$\omega^{2-\alpha} = 20,2383$$

$$A = 0,0990$$

$$A^{1-\alpha} = 0,3146$$

$$\Sigma C = 467,85 \text{ t.s/m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de disipadores por nivel} = 4$$

$$C_{YY} = 116,96 \text{ t.s/m}$$

$$C_{YY} = 110 \text{ t.s/m}$$

Para simplificar el modelo y estandarizar los dispositivos de amortiguamiento se consideró para las direcciones X-X e Y-Y, un solo valor del coeficiente de amortiguamiento "C", obteniéndose como primera alternativa viable del coeficiente de amortiguamiento "C" para la modelación en el Software, el siguiente valor:

$$C = 90 \text{ t.s/m}$$

Los coeficientes de amortiguamiento utilizados para el modelamiento con el software, se puede ver en la tabla 43.

Tabla 43. Coeficientes de amortiguamiento del disipador en función de  $\alpha$

Tipo de amortiguador	$\alpha$	C t.s/m <sup>1/α</sup>
Lineal	1,00	270
No lineal	0,50	90

### 3.3.12 Análisis sísmico de la edificación con sistemas de disipación de energía

#### a) Procedimiento para el análisis sísmico con sistemas de disipación de energía

- 1) Para el análisis sísmico con sistemas de disipación de energía se consideró las mismas consideraciones que para el análisis sísmico sin sistemas de disipación de energía tiempo – historia, y además de ello, para este análisis se consideró la inclusión de disipadores; para ello primero se definió las propiedades del disipador, mediante la opción Define/ Section Properties/ Link/ Support Properties/ Add New Property/ Damper/ Modify/ Show for U1, este procedimiento se muestra en la Fig 49.

The screenshot shows a software dialog box for defining a damper property. The 'Link/Support Type' is set to 'Damper'. The 'Property Name' is 'DISIPADOR'. There are input fields for 'Total Mass and Weight' (Mass, Weight) and 'Rotational Inertia' (1, 2, 3). Below that are 'Factors For Line, Area and Solid Springs' with input fields for length and area. The 'Directional Properties' section has a table with columns for Direction, Fixed, NonLinear, and Properties. The 'U1' direction is checked for 'NonLinear' and 'Fixed'. There are 'Fix All' and 'Clear All' buttons at the bottom left. On the right, there are 'Advanced...', 'OK', and 'Cancel' buttons.

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

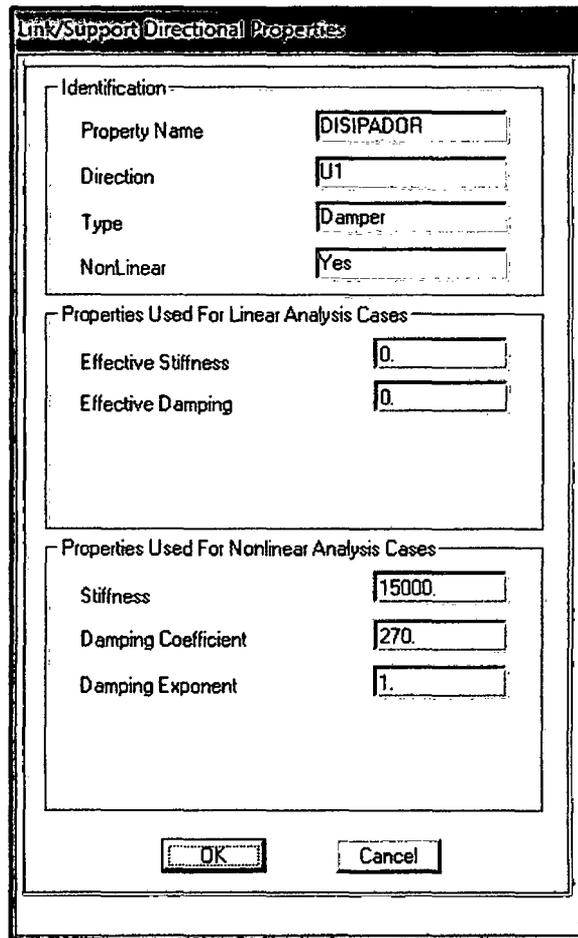


Figura 49. Definición de las propiedades de los disipadores

- 2) Luego se procedió a dibujar a los disipadores, mediante la opción Draw/ Draw 2 Joint Link. Después se seleccionó a los disipadores mediante la opción Select/ Properties/ Link Properties; y después se le asignó las propiedades definidas anteriormente, mediante la opción Assign/ Link/ Support/ Link/Support Properties, estos procedimientos se pueden apreciar en las Fig 50 y 51.

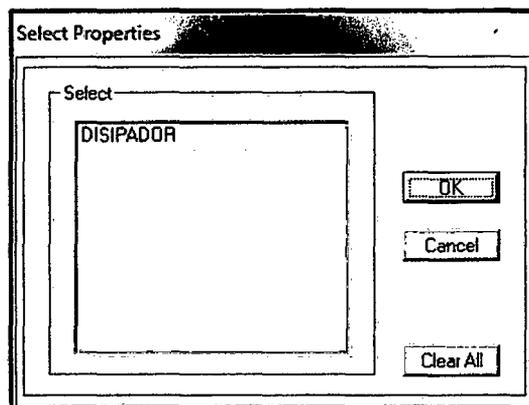


Figura 50. Selección de los disipadores

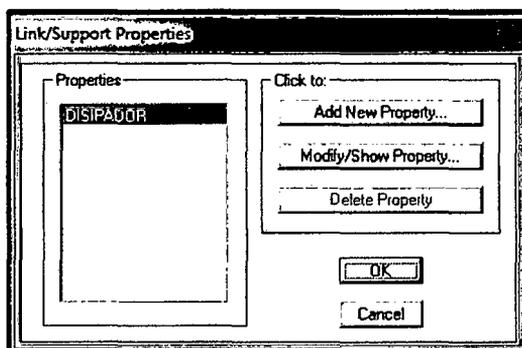


Figura 51. Asignación de las propiedades de los disipadores

## b) Respuesta de la estructura con sistemas de amortiguamiento

### i) Amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ )

#### 1) Verificación de derivas

Las tablas 44 y 45 muestran los desplazamientos obtenidos para los amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en cada dirección.

Tabla 44. Desplazamiento laterales (m) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X

Piso	Registros tiempo - historia						Max
	Lima 1966		Chimbote 1970		Lima 1974		
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	0,012	0,017	0,018	0,017	0,024	0,016	0,024
2	0,017	0,023	0,027	0,024	0,035	0,024	0,035
3	0,020	0,026	0,031	0,028	0,040	0,027	0,040

Tabla 45. Desplazamiento laterales (m) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y

Piso	Registros tiempo - historia						Max
	Lima 1966		Chimbote 1970		Lima 1974		
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	0,017	0,011	0,016	0,018	0,021	0,014	0,021
2	0,028	0,019	0,026	0,029	0,035	0,023	0,035
3	0,036	0,024	0,033	0,037	0,044	0,029	0,044

Las tablas 46 y 47 muestran las derivas obtenidas para los amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en cada dirección.

Tabla 46. Derivas (‰) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X

Piso	Altura (m)	Registros tiempo - historia						D <sub>máx</sub>
		Lima 66		Chimbote 70		Lima 74		
		E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	5,08	2,45	3,26	3,63	3,43	4,77	3,08	4,77
2	3,50	1,41	1,95	2,47	2,02	3,05	2,29	3,05
3	4,91	0,43	0,49	0,78	0,64	0,94	0,75	0,94

Tabla 47. Derivas (‰) para amortiguadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y

Piso	Altura (m)	Registros tiempo - historia						D <sub>máx</sub>
		Lima 66		Chimbote 70		Lima 74		
		E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	5,08	3,29	2,24	3,13	3,55	4,06	2,73	4,06
2	3,50	3,32	2,14	2,97	3,27	3,97	2,63	3,97
3	4,91	1,55	1,00	1,36	1,50	1,87	1,23	1,87

Las derivas máximas (D<sub>máx</sub>) en la dirección X e Y con la inclusión de disipadores fluido viscosos, se presentan para el sismo Lima 1974 con un valor de 4,77‰ y 4,06‰ respectivamente. Estos valores son menores al valor de la deriva objetivo (D<sub>objetivo</sub>) de 5,80‰, verificándose así que este diseño cumple con la deriva objetivo.

## 2) Balance de energía

Además de las derivas obtenidas del análisis sísmico de la estructura, se realizó un balance energía gráfico. Este balance nos permitió apreciar la participación de los amortiguadores y de la estructura en la disipación de la energía total; y además nos permitió evaluar la efectividad de la ubicación y disposición de los amortiguadores.

Para la estimación del porcentaje de disipación de energía del sistema de amortiguamiento, se procedió a extraer los valores de disipación en un tiempo t, para ello se ubicó una línea vertical en cada gráfico. El criterio utilizado para el trazo de la línea fue la búsqueda de los valores más representativos siguiendo la tendencia de las curvas. A continuación se muestran los gráficos

del balance de energía para cada registro sísmico, así como el cálculo del porcentaje de disipación de energía estimado.

**(1) Registro sísmico Lima 1966 E-W**

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{35,81}{44,33} = 80,78\%$$

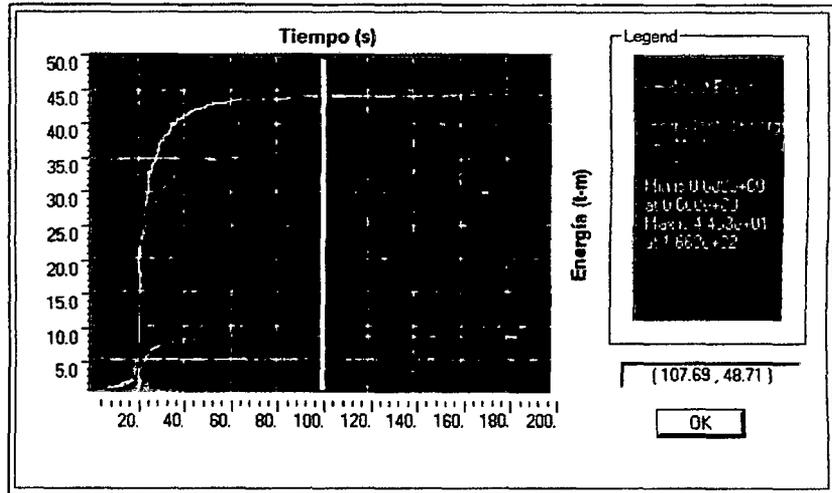


Figura 52. Balance de energía del registro sísmico Lima 1966 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

Donde:

- Energía del sismo (Input energy)
- Energía cinética (Kinetic energy)
- Energía potencial (Potencial energy)
- Energía de la estructura (Modal Damping energy)
- Energía del sistema de amortiguamiento (Link damper energy)

**(2) Registro sísmico Lima 1966 N-S**

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{25,22}{31,26} = 80,68\%$$

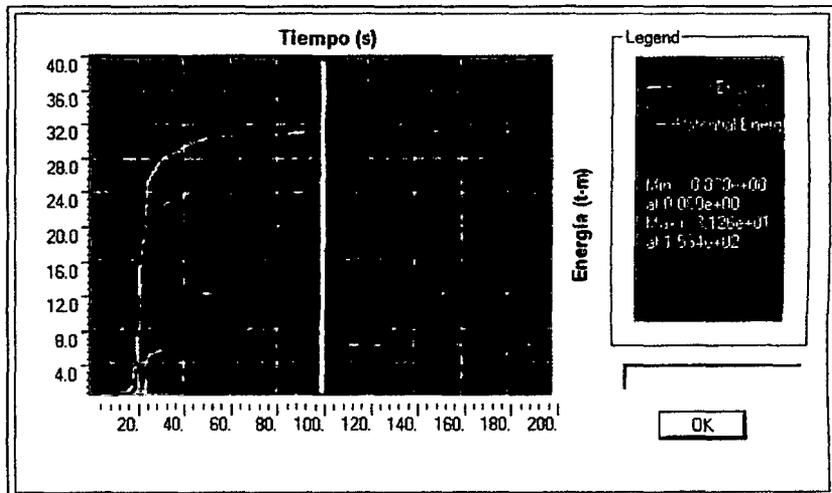


Figura 53. Balance de energía del registro sísmico Lima 1966 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

### (3) Registro sísmico Chimbote 1970 E-W

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{77,40}{95,76} = 80,83\%$$

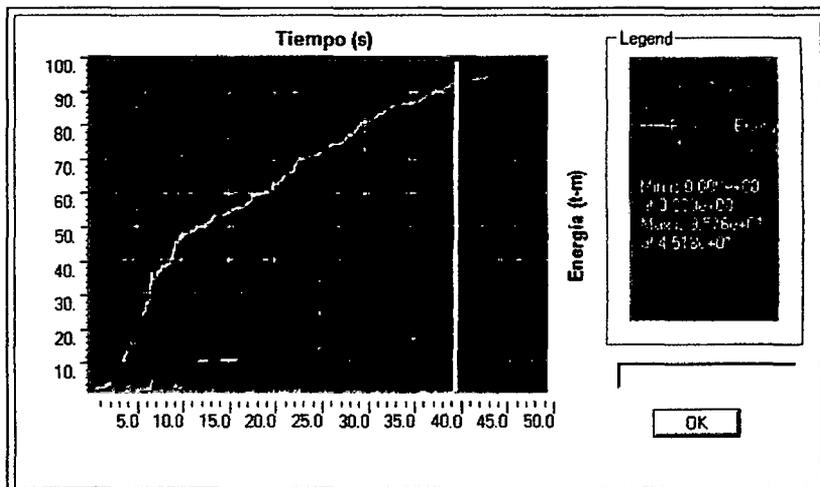


Figura 54. Balance de energía del registro sísmico Chimbote 1970 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

### (4) Registro sísmico Chimbote 1970 N-S

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{80,26}{99,26} = 80,86\%$$

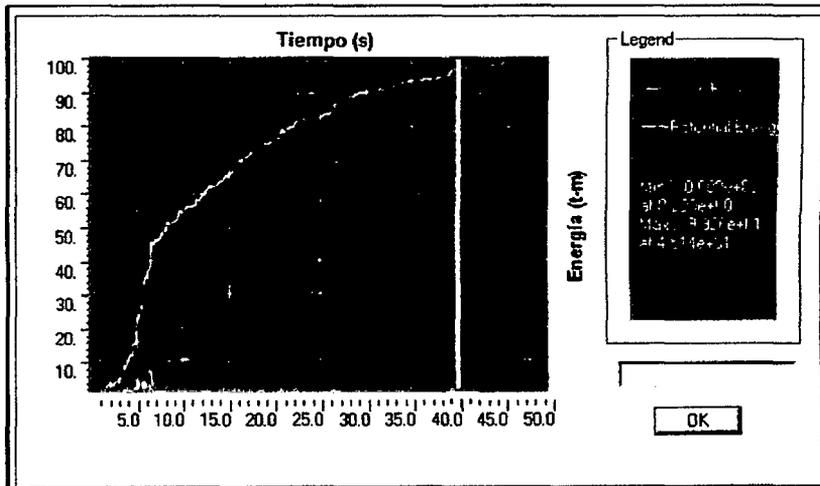


Figura 55. Balance de energía del registro sísmico Chimbote 1970 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

### (5) Registro sísmico Lima 1974 E-W

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{145,60}{179,60} = 81,07\%$$

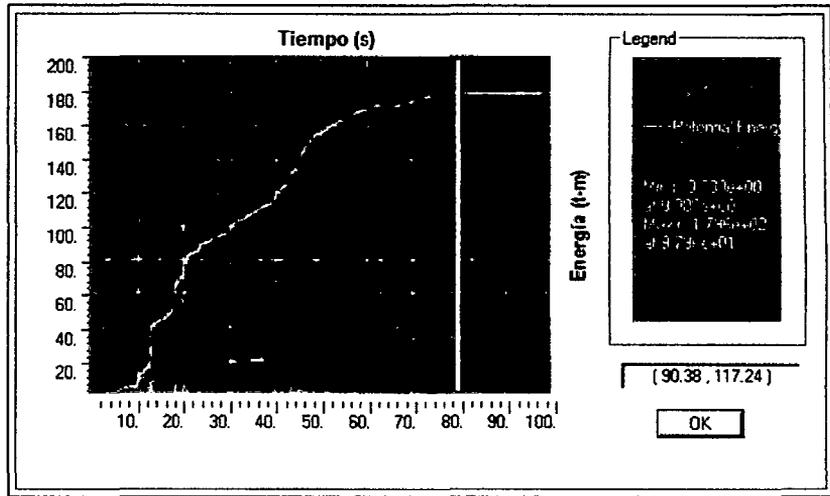


Figura 56. Balance de energía del registro sísmico Lima 1974 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

**(6) Registro sísmico Lima 1974 N-S**

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{83,31}{102,90} = 80,96\%$$

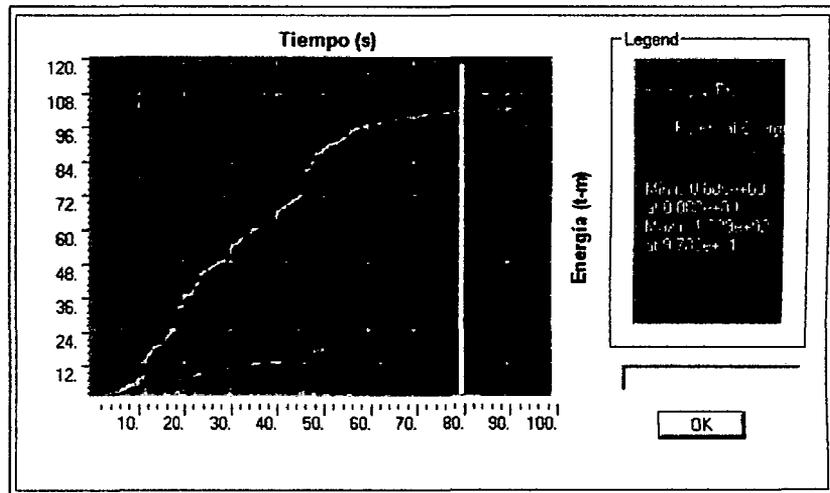


Figura 57. Balance de energía del registro sísmico Lima 1974 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

A partir de este análisis se observó que el porcentaje de disipación de energía del sistema de amortiguamiento se aproxima a 81%, este porcentaje se dio debido a la cantidad de dispositivos utilizados en la estructura.

### 3) Curva de histéresis

La curva de histéresis de un disipador de energía de fluido viscoso presenta habitualmente una geometría elíptica, alcanzando la fuerza valores máximos cuando los desplazamientos son nulos. A partir de estos gráficos se puede identificar el comportamiento desplazamiento-fuerza del disipador. A continuación se muestran las curvas desplazamiento-fuerza para cada registro sísmico.

#### (1) Registro sísmico Lima 1966 E-W

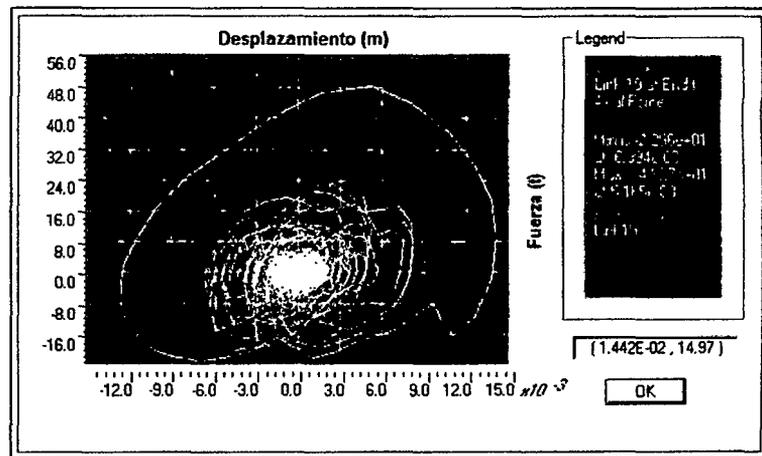


Figura 58. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1966 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

#### (2) Registro sísmico Lima 1966 N-S

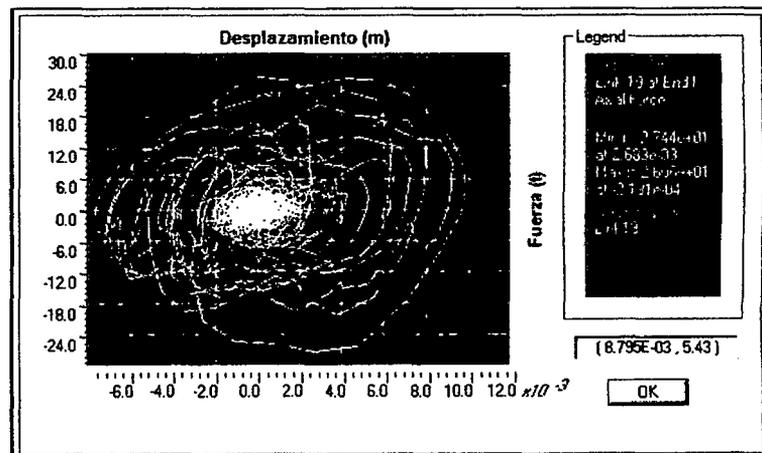


Figura 59. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1966 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

**(3) Registro sísmico Chimbote 1970 E-W**

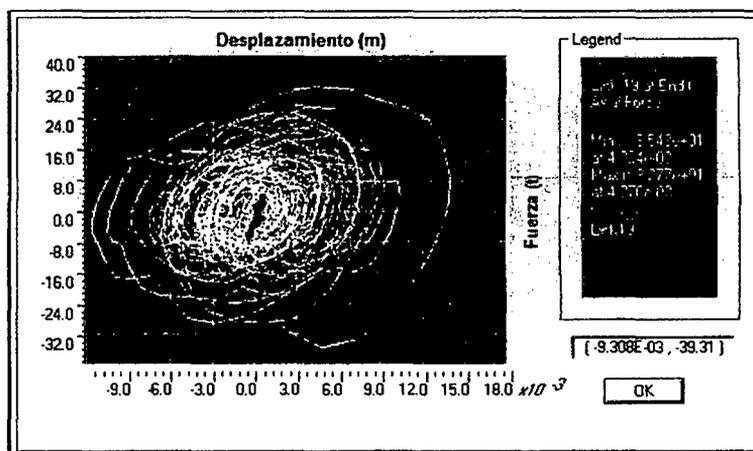


Figura 60. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Chimbote 1970 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

**(4) Registro sísmico Chimbote 1970 N-S**

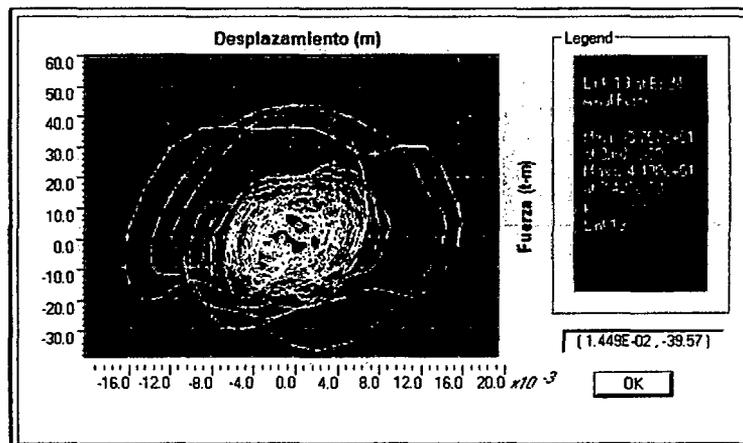


Figura 61. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Chimbote 1970 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

**(5) Registro sísmico Lima 1974 E-W**

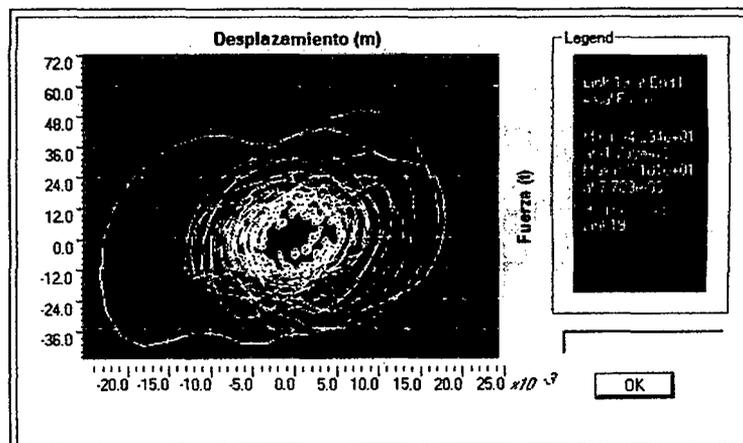


Figura 62. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1974 E-W - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

## (6) Registro sísmico Lima 1974 N-S

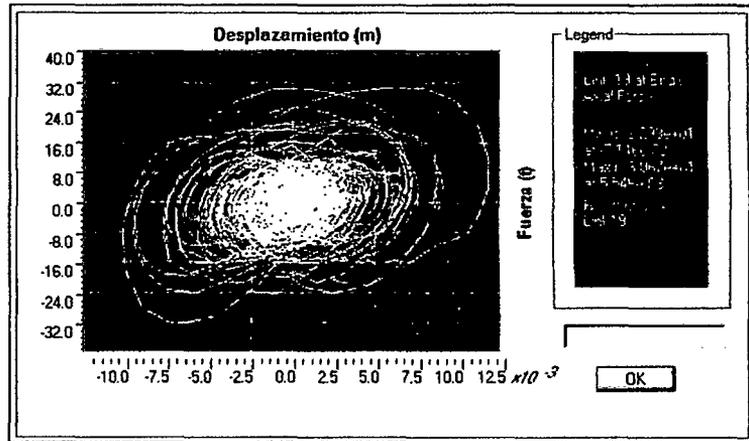


Figura 63. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1974 N-S - Dispositivos lineales ( $\alpha = 1,00$ )

## 4) Agrupación de los dispositivos por niveles de fuerzas

A continuación se presenta los valores de las fuerzas máximas obtenidas en los dispositivos de amortiguación considerando los esfuerzos de tracción y compresión debido a las sollicitaciones sísmicas del registro sísmico Lima 1974 E-W. Estas fuerzas se agruparon con objeto de estandarizar las fuerzas en los dispositivos y así poder enviar estos dispositivos a fabricación.

Tabla 48: Fuerzas de diseño para los disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X

Nivel	Disipador	Fuerza axial (t)	Fuerza axial (KN)	Fuerza de diseño (KN)
1	L1	43,11	422,91	500
	L2	46,66	457,72	500
	L7	45,66	447,94	500
	L8	48,23	473,17	500
2	L3	21,34	209,33	250
	L4	26,22	257,21	250
	L9	23,08	226,37	250
	L10	27,60	270,77	250
3	L5	9,32	91,43	250
	L6	11,74	115,22	250
	L11	10,58	103,83	250
	L12	12,96	127,13	250

Tabla 49: Fuerzas de diseño para los disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y

Nivel	Disipador	Fuerza axial (t)	Fuerza axial (KN)	Fuerza de diseño (KN)
1	L13	45,58	447,12	500
	L16	45,58	447,10	500
	L19	51,01	500,41	500
	L22	51,01	500,43	500
2	L14	33,22	325,91	500
	L17	33,22	325,92	500
	L20	37,80	370,84	500
	L23	37,80	370,83	500
3	L15	20,85	204,58	250
	L18	20,86	204,59	250
	L21	23,92	234,69	250
	L24	23,92	234,67	250

Para esta propuesta se propuso un total de 24 disipadores; 12 disipadores de 250 KN y 12 disipadores de 500 KN.

## ii) Amortiguadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

### 1) Verificación de derivas

Las tablas 50 y 51 muestran los desplazamientos obtenidos para los amortiguadores lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en cada dirección.

Tabla 50. Desplazamiento laterales (m) por nivel y por tiempo - historia (Eje X)

Piso	Registros tiempo - historia						Max
	Lima 1966		Chimbote 1970		Lima 1974		
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	0,014	0,015	0,018	0,018	0,025	0,018	0,025
2	0,020	0,022	0,025	0,024	0,036	0,025	0,036
3	0,021	0,023	0,027	0,026	0,039	0,027	0,039

Tabla 51. Desplazamiento laterales (m) por nivel y por tiempo - historia (Eje Y)

Piso	Registros tiempo - historia						Max
	Lima 1966		Chimbote 1970		Lima 1974		
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	0,018	0,011	0,013	0,018	0,023	0,015	0,023
2	0,030	0,017	0,021	0,028	0,038	0,024	0,038
3	0,036	0,020	0,025	0,033	0,047	0,028	0,047

Las tablas 52 y 53 muestran las derivas obtenidas para los amortiguadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en cada dirección.

Tabla 52. Derivas (‰) por nivel y por registro tiempo - historia (Eje X)

Piso	Altura (m)	Registros tiempo - historia						D <sub>máx</sub>
		Lima 66		Chimbote 70		Lima 74		
		E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	5,08	2,77	3,01	3,51	3,52	5,00	3,57	5,00
2	3,50	1,63	1,78	2,01	1,89	3,03	2,01	3,03
3	4,91	0,19	0,36	0,37	0,29	0,59	0,33	0,59

Tabla 53. Derivas (‰) por nivel y por registro tiempo - historia (Eje Y)

Piso	Altura (m)	Registros tiempo - historia						D <sub>máx</sub>
		Lima 66		Chimbote 70		Lima 74		
		E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	
1	5,08	3,57	2,13	2,63	3,45	4,57	2,89	4,57
2	3,50	3,30	1,79	2,25	2,91	4,17	2,57	4,17
3	4,91	1,38	0,64	0,82	1,12	1,79	0,91	1,79

Las derivas máximas (D<sub>máx</sub>) en la dirección X e Y con la inclusión de disipadores fluido viscosos, se presentan para el sismo Lima 1974 con un valor de 5,00‰ y 4,57‰ respectivamente. Estos valores son menores al valor de la deriva objetivo (D<sub>objetivo</sub>) de 5,80‰, verificándose así que este diseño cumple con la deriva objetivo.

## 2) Balance de energía

A continuación se muestran los gráficos del balance de energía para cada registro sísmico, así como el cálculo del porcentaje de disipación de energía estimado.

### (1) Registro sísmico Lima 1966 E-W

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{39,96}{47,08} = 84,88\%$$

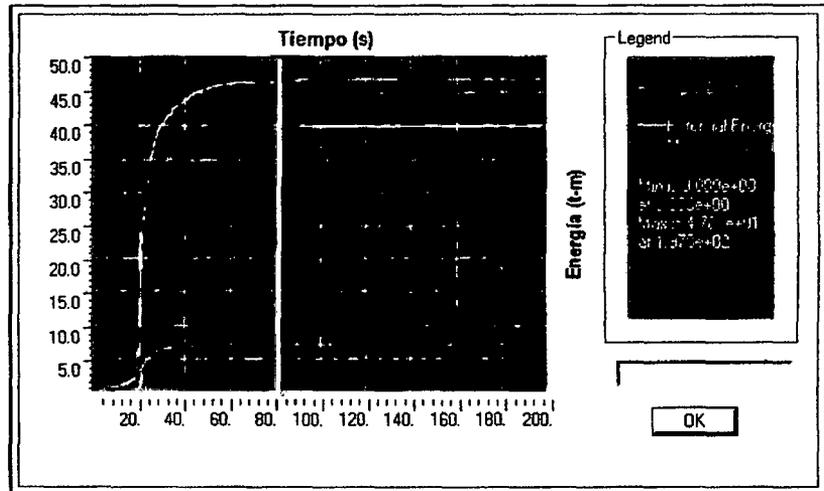


Figura 64. Balance de energía del registro sísmico Lima 1966 E-W - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

**(2) Registro sísmico Lima 1966 N-S**

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{27,89}{32,67} = 85,36\%$$

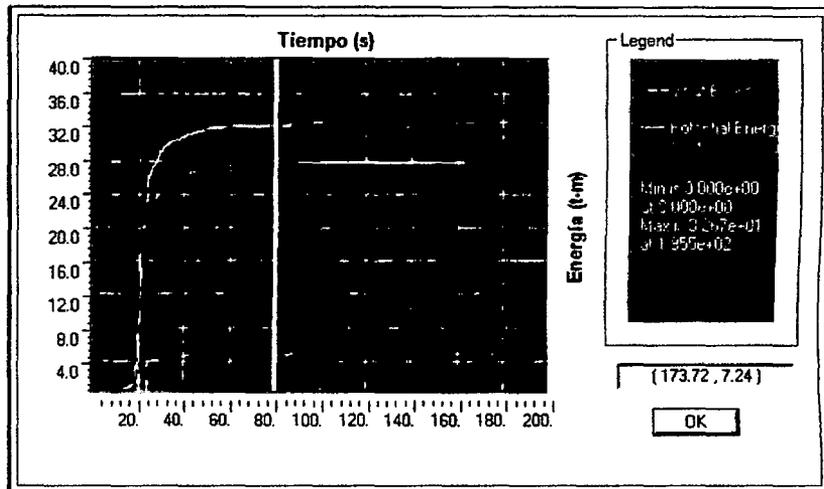


Figura 65. Balance de energía del registro sísmico Lima 1966 N-S - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

**(3) Registro sísmico Chimbote 1970 E-W**

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{85,68}{100,20} = 85,51\%$$

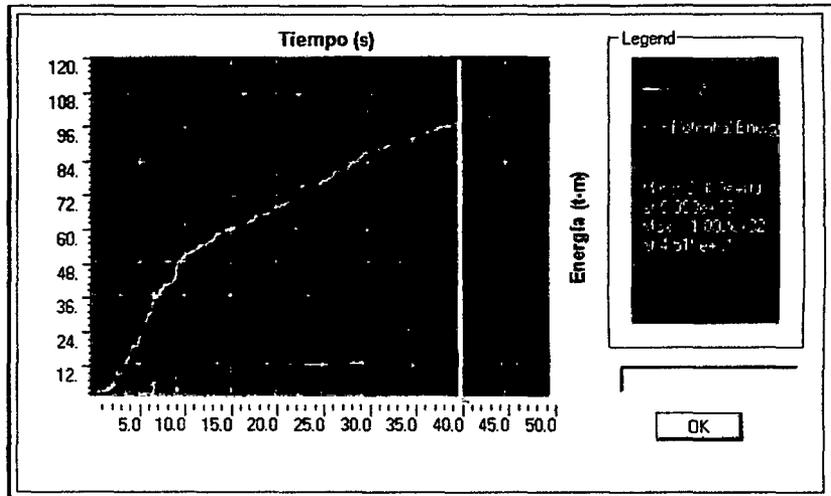


Figura 66. Balance de energía del registro sísmico Chimbote 1970 E-W - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

**(4) Registro sísmico Chimbote 1970 N-S**

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{87,80}{103,30} = 85,00\%$$

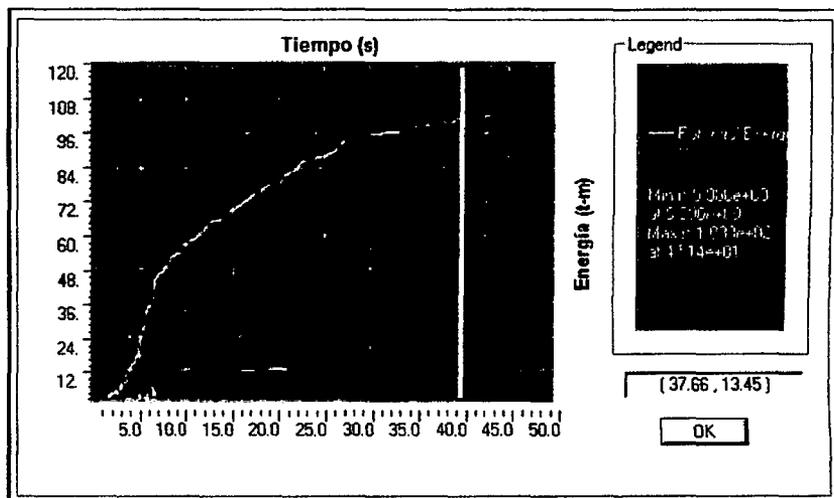


Figura 67. Balance de energía del registro sísmico Chimbote 1970 N-S - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

**(5) Registro sísmico Lima 1974 E-W**

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{149,40}{175,70} = 85,03\%$$

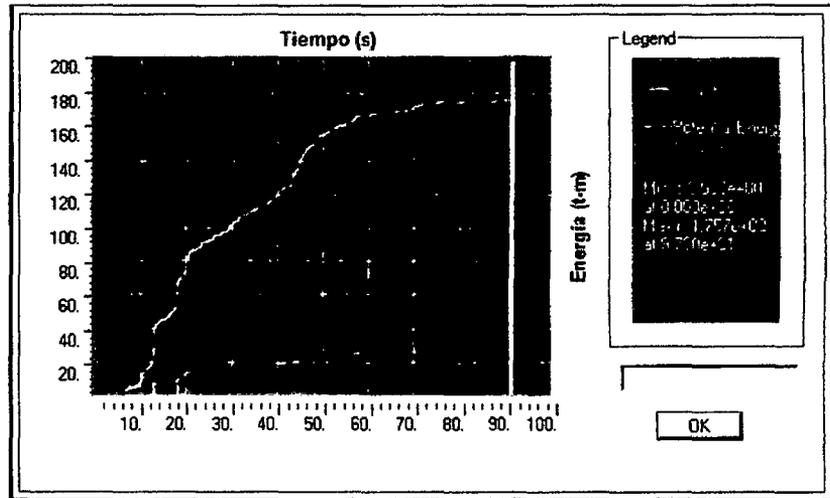


Figura 68. Balance de energía del registro sísmico Lima 1974 E-W - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

### (6) Registro sísmico Lima 1974 N-S

$$\text{Porcentaje de disipación de energía} = \frac{98,86}{115,10} = 85,89\%$$

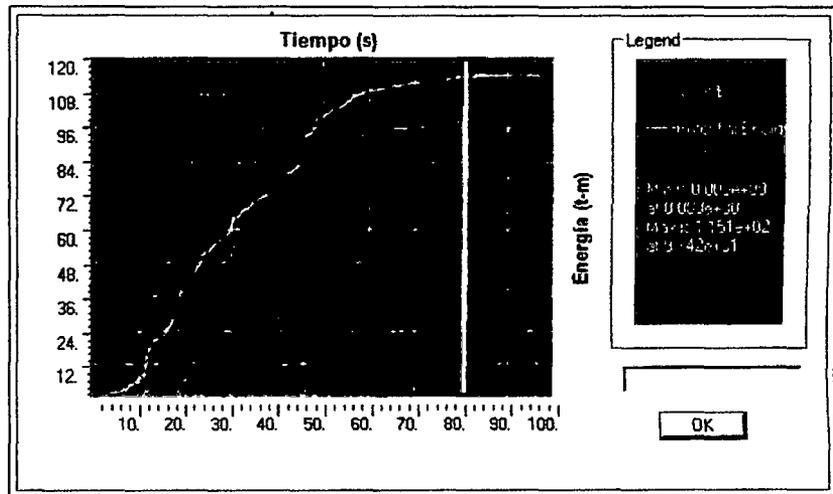


Figura 69. Balance de energía del registro sísmico Lima 1974 N-S - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

### 3) Curva de histéresis

A continuación se muestran las curvas desplazamiento - fuerza para cada registro sísmico.



**(4) Registro sísmico Chimbote 1970 N-S**

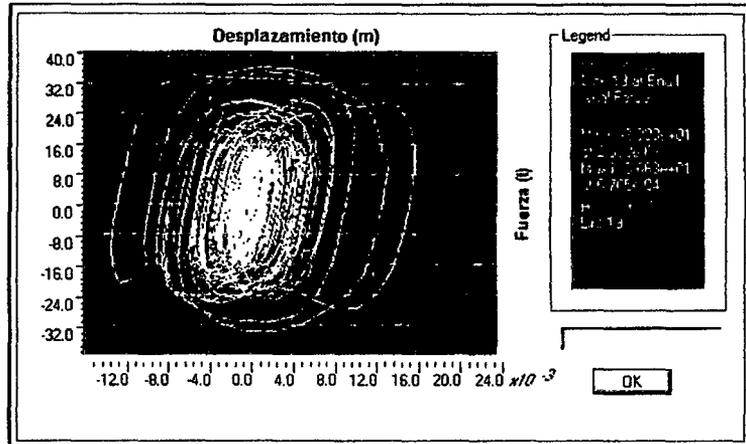


Figura 73. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Chimbote 1970 N-S - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

**(5) Registro Sísmico Lima 1974 E-W**

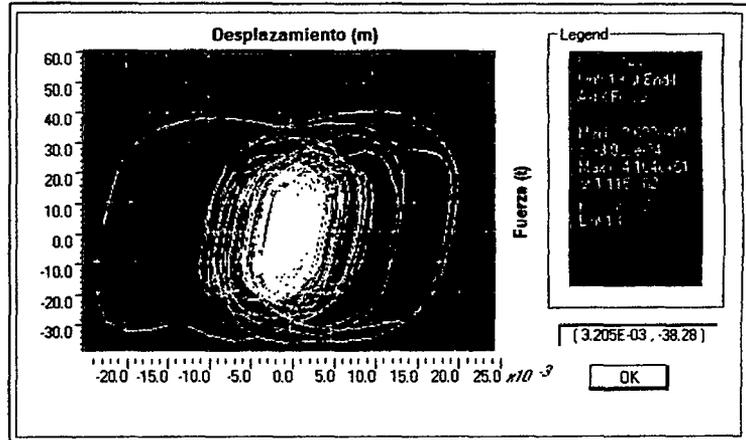


Figura 74. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1974 E-W - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

**(6) Registro sísmico Lima 1974 N-S**

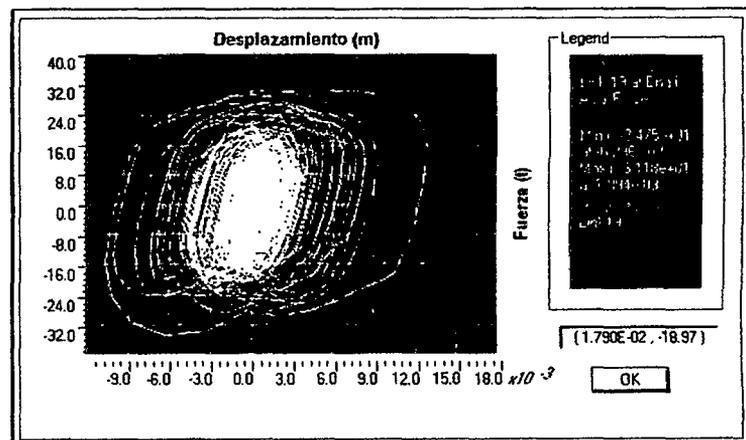


Figura 75. Curva desplazamiento-fuerza para el registro sísmico Lima 1974 N-S - Dispositivos no lineales ( $\alpha = 0,50$ )

#### 4) Agrupación de los dispositivos por niveles de fuerzas

A continuación se presenta los valores de las fuerzas máximas obtenidas en los dispositivos de amortiguación considerando los esfuerzos de tracción y compresión debido a las sollicitaciones sísmicas del registro sísmico Lima 1974 E-W. Estas fuerzas se agruparon con objeto de estandarizar las fuerzas en los dispositivos y así poder enviar estos dispositivos a fabricación.

Tabla 54. Fuerzas de diseño para los disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X

Nivel	Disipador	Fuerza axial (t)	Fuerza axial (KN)	Fuerza de diseño (KN)
1	L1	38,70	379,62	500
	L2	40,35	395,81	500
	L7	39,03	382,88	500
	L8	41,08	402,99	500
2	L3	24,03	235,70	250
	L4	25,33	248,46	250
	L9	24,29	238,30	250
	L10	25,94	254,48	250
3	L5	13,24	129,85	250
	L6	12,98	127,33	250
	L11	13,56	133,00	250
	L12	13,22	129,71	250

Tabla 55. Fuerzas de diseño para los disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y

Nivel	Disipador	Fuerza axial (t)	Fuerza axial (KN)	Fuerza de diseño (KN)
1	L13	37,38	366,71	500
	L16	37,38	366,71	500
	L19	41,04	402,62	500
	L22	41,04	402,62	500
2	L14	30,61	300,31	500
	L17	30,61	300,31	500
	L20	32,99	323,59	500
	L23	32,99	323,59	500
3	L15	23,49	230,45	250
	L18	20,63	202,38	250
	L21	25,90	254,05	250
	L24	25,90	254,05	250

Para esta propuesta se propuso un total de 24 disipadores; 12 disipadores de 250 KN y 12 disipadores de 500 KN.

### 3.3.13 Evaluación de los sistemas de disipación de energía lineales y no lineales

A continuación, se presenta los resultados de las dos propuestas de diseño con disipadores para el sismo de Lima 1974 E-W, por ser el que ocasiona mayor deriva.

#### a) Desplazamientos de entrepiso

Los porcentajes de reducción de los desplazamientos laterales, se presentan en las tablas 56 y 57:

Tabla 56. Porcentaje de reducción de desplazamientos laterales en la dirección X-X

Nivel	Sin disipadores	Disipadores lineales		Disipadores no lineales	
		$\alpha = 1,00$	% Reduc.	$\alpha = 0,50$	% Reduc.
1	5,78 cm	2,42 cm	58,08%	2,54 cm	56,02%
2	8,05 cm	3,49 cm	56,62%	3,60 cm	55,24%
3	9,22 cm	3,95 cm	57,13%	3,89 cm	57,77%

Tabla 57. Porcentaje de reducción de desplazamientos laterales en la dirección Y-Y

Nivel	Sin disipadores	Disipadores lineales		Disipadores no lineales	
		$\alpha = 1,00$	% Reduc.	$\alpha = 0,50$	% Reduc.
1	3,77 cm	2,06 cm	45,23%	2,32 cm	38,32%
2	6,32 cm	3,45 cm	45,35%	3,78 cm	40,12%
3	8,09 cm	4,37 cm	30,84%	4,66 cm	26,20%

Según estas tablas se puede apreciar que el porcentaje de reducción de desplazamientos laterales para los disipadores está en un rango de 26% a 45% para la dirección X-X y para la dirección Y-Y en un rango de 55% a 58%.

La comparación de los desplazamientos laterales de los disipadores lineales y no lineales, se puede apreciar en las Fig 76, 77, 78 y 79:

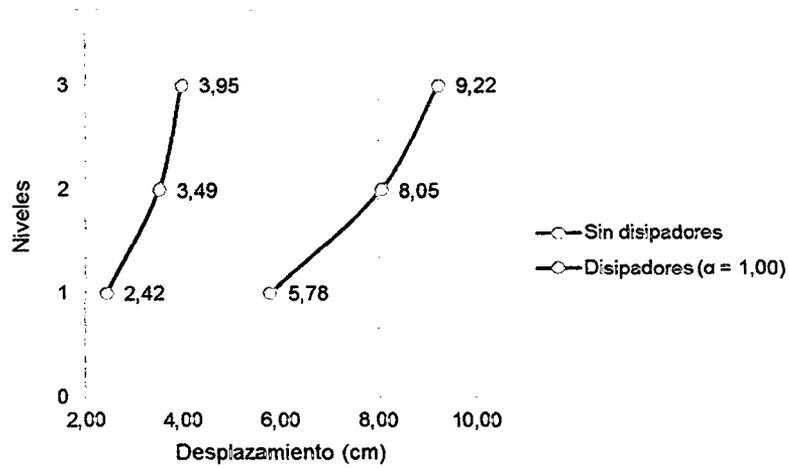


Figura 76. Comparación del desplazamiento lateral del edificio sin usar disipadores y usando disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X

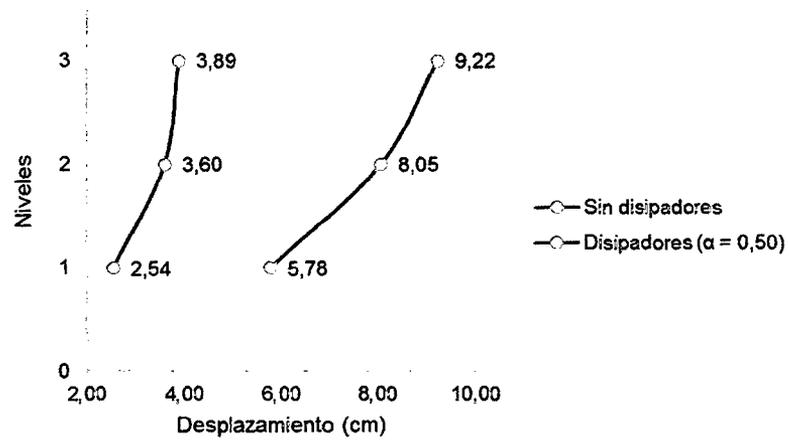


Figura 77. Comparación del desplazamiento lateral del edificio sin usar disipadores y usando disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X

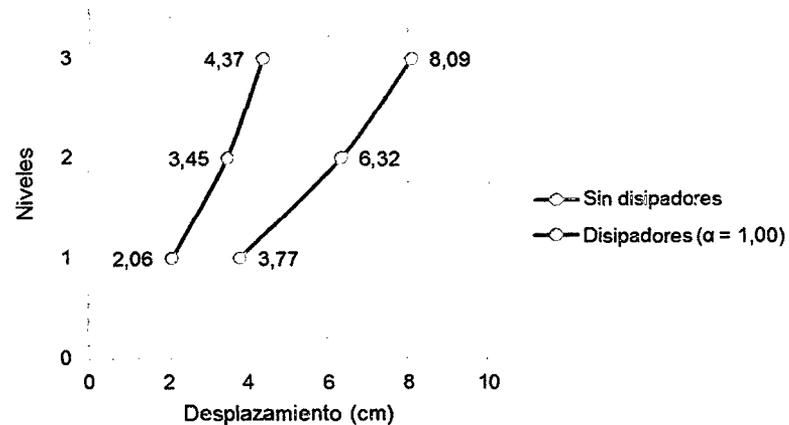


Figura 78. Comparación del desplazamiento lateral del edificio sin usar disipadores y usando disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y

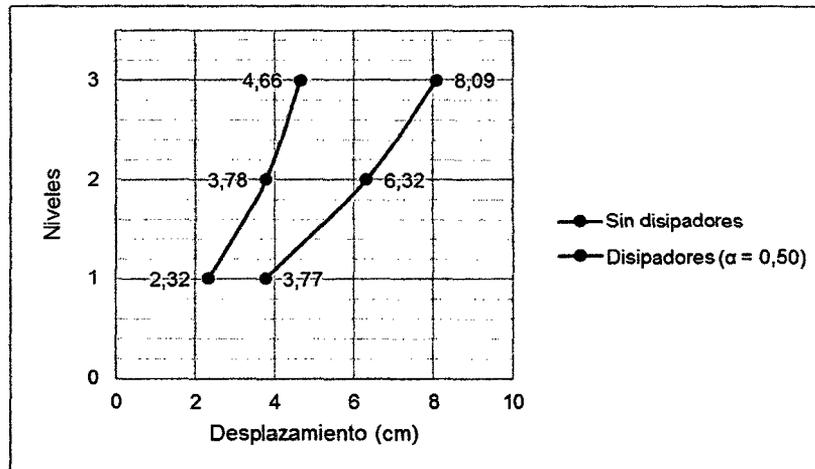


Figura 79. Comparación del desplazamiento lateral del edificio sin usar disipadores y usando disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y

### c) Derivas de entrepiso

A continuación en las tablas 58 y 59, se presenta el porcentaje de reducción de derivas.

Tabla 58. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X

Nivel	Sin disipadores	Disipadores lineales		Disipadores no lineales	
		$\alpha = 1,00$	% Reduc.	$\alpha = 0,50$	% Reduc.
1	11,38‰	4,77‰	58,08%	5,00‰	56,02%
2	6,48‰	3,05‰	52,88%	3,03‰	53,26%
3	2,39‰	0,94‰	60,64%	0,59‰	75,11%

Tabla 59. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección Y-Y

Nivel	Sin disipadores	Disipadores lineales		Disipadores no lineales	
		$\alpha = 1,00$	% Reduc.	$\alpha = 0,50$	% Reduc.
1	7,41‰	4,06‰	45,23%	4,57‰	38,32%
2	7,29‰	3,97‰	45,52%	4,17‰	42,79%
3	3,60‰	1,87‰	48,21%	1,79‰	50,29%

Según estas tablas se puede apreciar que el porcentaje de reducción de derivas es similar tanto para disipadores lineales y no lineales, logrando su máxima reducción en el último nivel, y que la reducción aumenta conforme el coeficiente de velocidad ( $\alpha$ ) aumenta.

La comparación de los desplazamientos laterales de los disipadores lineales y no lineales, se puede apreciar en las Fig 80, 81, 82 y 83:

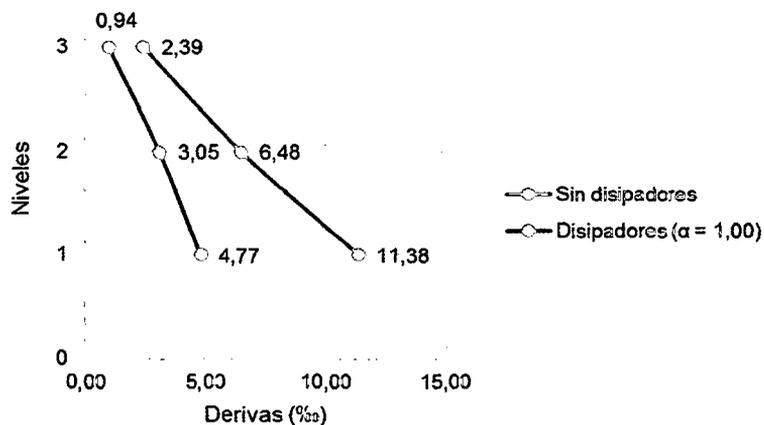


Figura 80. Comparación de la deriva del edificio sin usar disipadores y usando disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección X-X

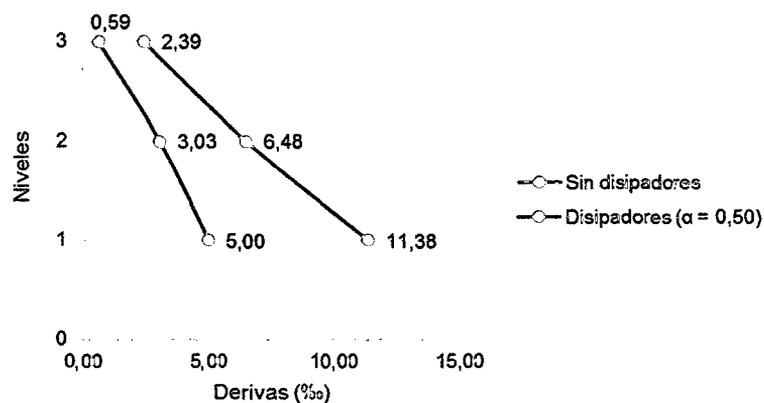


Figura 81. Comparación de la deriva del edificio sin usar disipadores y usando disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección X-X

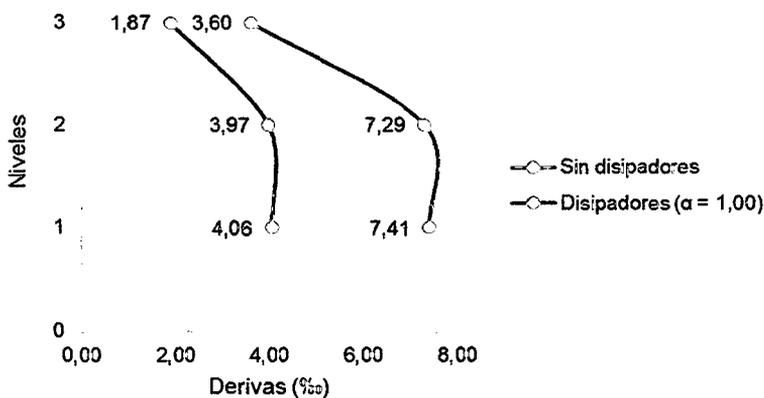


Figura 82. Comparación de la deriva del edificio sin usar disipadores y usando disipadores lineales ( $\alpha = 1,00$ ) en la dirección Y-Y

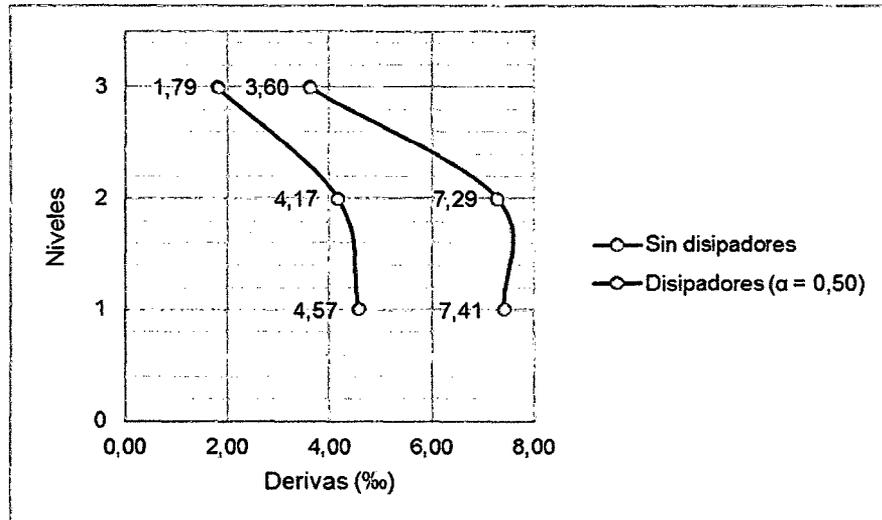


Figura 83. Comparación de la deriva del edificio sin usar disipadores y usando disipadores no lineales ( $\alpha = 0,50$ ) en la dirección Y-Y

Con respecto a las derivas máximas se observó que con el uso de amortiguadores fluido viscosos lineales y no lineales estas derivas están muy cercanas a la deriva objetivo de 5,80‰, esta comparación se muestra en la Fig 84.

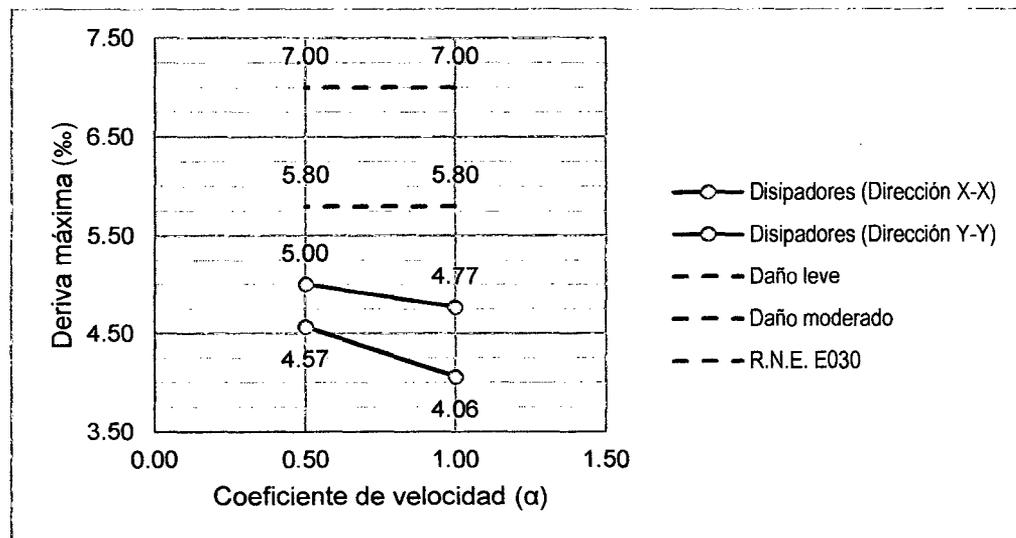


Figura 84. Derivas máximas en función del coeficiente de velocidad ( $\alpha$ )

### b) Disipación de energía

Según las gráficas de balance de energía expuestas anteriormente, se determinó que el porcentaje de disipación de energía es similar para

ambos casos. Para el caso de los amortiguadores lineales este porcentaje fue de 81% y para los no lineales fue de 85%.

### c) Fuerzas en el disipador

A continuación en las Fig 70 y 71, se muestra los valores de las fuerzas axiales en los disipadores.

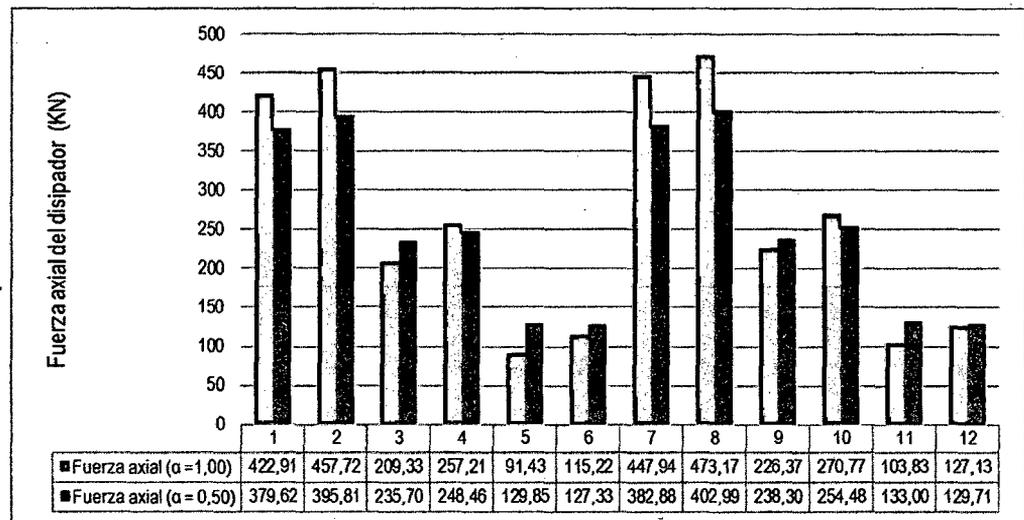


Figura 85. Fuerza en los disipadores lineales y no lineales (Dirección X-X)

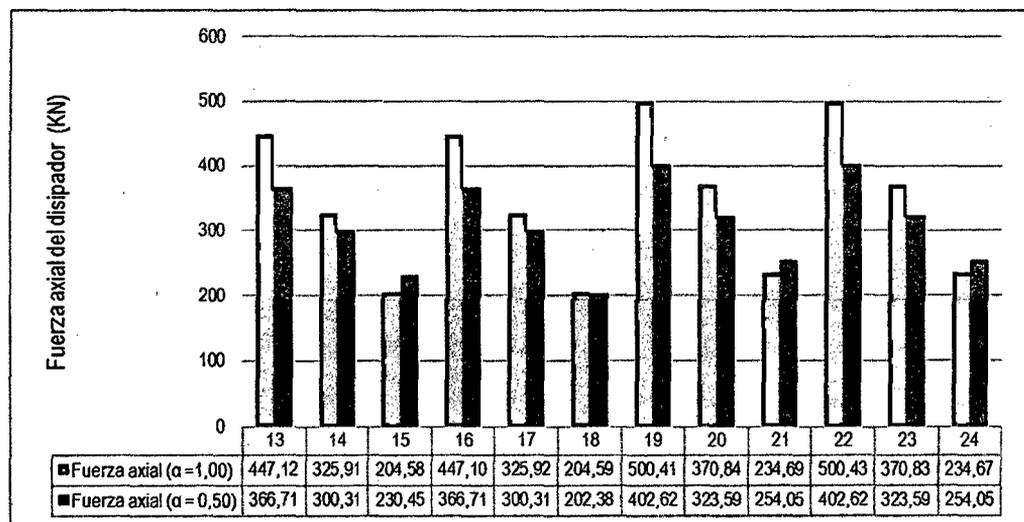


Figura 86. Fuerza en los disipadores lineales y no lineales (Dirección Y-Y)

De las figuras anteriores se pudo apreciar que a menor valor del coeficiente de velocidad ( $\alpha$ ), menor es la fuerza en el disipador.

**d) Fuerza axial máxima, fuerza cortante máxima y momento máximo en las columnas**

Otro parámetro importante a considerar para la evaluación de los sistemas de disipación de energía lineales y no lineales, son las fuerzas axiales máximas, las fuerzas cortantes máximas y los momentos máximos, que se presentan en los elementos verticales de la estructura. Por ello, a continuación se presentan los valores extraídos de estos parámetros, para una columna específica que se ubica entre el eje 3 y el eje B.

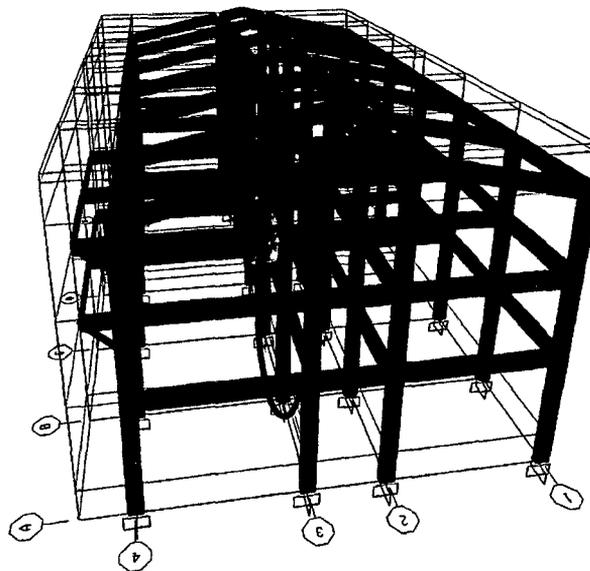


Figura 87. Ubicación de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B

**i) Fuerza axial máxima**

A continuación en las tablas 60 y 61, se muestra los valores de las fuerzas axiales máximas.

Tabla 60. Porcentaje de reducción de las fuerzas axiales máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección X-X

Pisos	Sin disipadores	Disipadores lineales	% Reduc.	Disipadores no lineales	% Reduc.
1	5,90	2,43	58,89	1,83	68,93
2	1,88	0,67	64,36	0,41	78,50
3	0,34	0,10	70,50	0,07	78,75

Tabla 61. Porcentaje de reducción de las fuerzas axiales máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección Y-Y

Pisos	Sin disipadores	Disipadores lineales	% Reduc.	Disipadores no lineales	% Reduc.
1	28,15	17,95	36,24	16,52	41,33
2	9,64	6,16	36,14	5,31	44,92
3	2,47	1,30	47,24	1,57	36,15

Según estas tablas se puede apreciar que los disipadores no lineales reducen la fuerza axial en un mayor porcentaje.

## ii) Fuerza cortante máxima

A continuación en las tablas 62 y 63, se muestra los valores de las fuerzas cortantes máximas.

Tabla 62. Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección X-X

Pisos	Sin disipadores	Disipadores lineales	% Reduc.	Disipadores no lineales	% Reduc.
1	10,28	4,26	58,59	4,49	56,37
2	8,40	3,41	59,37	3,34	60,28
3	1,85	0,67	63,80	0,31	83,18

Tabla 63. Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección Y-Y

Pisos	Sin disipadores	Disipadores lineales	% Reduc.	Disipadores no lineales	% Reduc.
1	23,50	11,00	53,20	12,32	47,56
2	21,52	11,49	46,62	11,90	44,73
3	7,39	2,82	61,88	2,53	65,73

Según estas tablas se puede apreciar que los disipadores no lineales reducen la fuerza cortante en un mayor porcentaje.

### iii) Momento máximo

A continuación en las tablas 64 y 65, se muestra los valores de los momentos máximos.

Tabla 64. Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección X-X

Pisos	Sin disipadores	Disipadores lineales	% Reduc.	Disipadores no lineales	% Reduc.
1	26,67	11,98	55,07	13,12	50,79
2	16,21	7,94	51,04	7,89	51,33
3	5,45	2,09	61,64	1,17	78,52

Tabla 65. Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes máximas de la columna que se encuentra entre el eje 3 y el eje B, en la dirección Y-Y

Pisos	Sin disipadores	Disipadores lineales	% Reduc.	Disipadores no lineales	% Reduc.
1	66,32	31,38	52,68	34,72	47,65
2	41,96	26,29	37,34	24,70	41,13
3	22,31	9,13	59,11	8,43	62,21

Según estas tablas se puede apreciar que los disipadores no lineales reducen los momentos máximos en un mayor porcentaje.

De las tablas anteriores, se observó que los disipadores no lineales son más efectivos para reducir las fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos máximos de las columnas.

### d) Elección de mejor propuesta

De lo anterior, se deduce que la mejor propuesta es la que presenta menores fuerzas en el disipador y menores fuerzas en sus elementos adyacentes, por lo que, se propone como la mejor propuesta de diseño, al diseño con disipadores no lineales ( $\alpha = 0.50$ ).

### 3.3.14 Diseño estructural

#### a) Diseño del sistema de amortiguamiento

##### i) Diseño de los dispositivos de amortiguación

Para el diseño de los dispositivos de amortiguación se consideró las fuerzas axiales de los disipadores de la mejor propuesta, la propuesta de los disipadores no lineales ( $\alpha = 0.50$ ).

De acuerdo a estas fuerzas axiales y utilizando las Fig 14 y 15, se propuso las características de la placa base, que se muestran a continuación en la tabla 68.

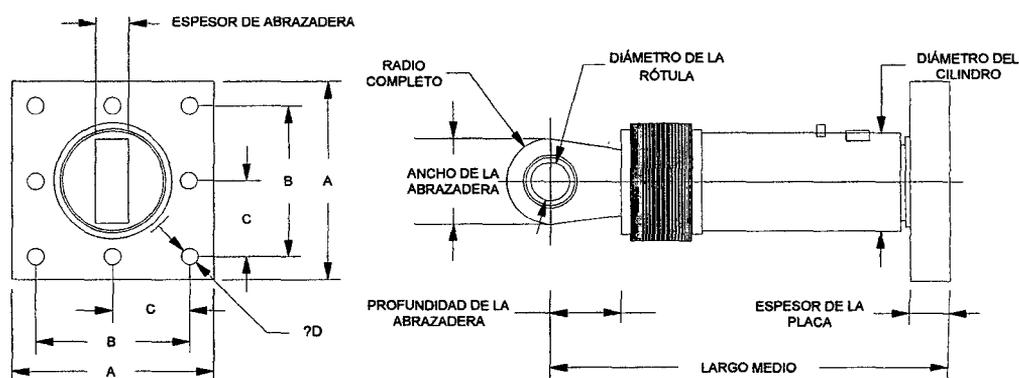


Figura 88. Dispositivo TAYLOR DEVICES – Placa base

Tabla 66. Características de la placa base del diseño propuesto

Fuerza	Diámetro de la rótula (mm)	Largo medio (mm)	Golpe (mm)	Espesor de abrazadera (mm)	Ancho de abrazadera (mm)	Profundidad de abrazadera (mm)	Diámetro del cilindro (mm)	Peso (kg)
250 KN	38,10	787	± 75	41	100 MAX.	83	114 MAX.	44
500 KN	50,80	997	± 100	54	127 MAX.	102	150 MAX.	98

Fuerza	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	Espesor de Abrazadera (mm)
250 KN	178 ± 3	127 ± 25	*	20,6 ± 25	38 ± 76
500 KN	282 ± 3	203 ± 25	*	31,8 ± 25	38 ± 76

Fuente: CDV 2014

##### ii) Diseño del brazo metálico

Para este diseño se consideró las siguientes características del brazo metálico Round HSS 7,50 x 0,500; las cuales son:

Área del perfil metálico	: A	= 10,30 in <sup>2</sup>
Radio del perfil metálico	: r	= 2,49 in
Longitudes	: L <sub>1°nivel x</sub>	= 259,84 in = 6,60 m
	: L <sub>2°nivel x</sub>	= 255,91 in = 6,50 m
	: L <sub>3°nivel x</sub>	= 255,91 in = 6,50 m
	: L <sub>1°nivel y</sub>	= 311,02 in = 7,90 m
	: L <sub>2°nivel y</sub>	= 307,09 in = 7,80 m
	: L <sub>3°nivel y</sub>	= 334,65 in = 8,50 m
Factor de longitud efectiva	: 1	
Módulo de elasticidad del acero:	E <sub>a</sub>	= 29 000 ksi = 20 x 10 <sup>6</sup> t/m <sup>2</sup>
Esfuerzo de fluencia	: F <sub>y</sub>	= 35 ksi
Resistencia en tensión	: F <sub>u</sub>	= 50 t
Resistencia a la compresión	: P <sub>u</sub>	= 50 t

Con estas características se procedió a verificar que se cumpla las ecuaciones 15 y 16, el procedimiento seguido se muestra en las tablas 67 y 68.

$$\phi T_n = \phi F_y A_g > T_u \text{ (Tensión)} \quad (15)$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g > P_u \text{ (Compresión)} \quad (16)$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y \quad (17)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} \quad (18)$$

Tabla 67. Verificación del brazo en dirección X-X

Nivel	Fe (ksi)	Fcr (ksi)	ØTn (kips)	ØPn (kips)	ØTn (t)	ØPn (t)	ØPn > Pu (t)	ØTn > Tu (t)
1	26,28	20,05	185,82	324,45	82,95	144,84	82,95 > 50 (OK)	144,84 > 50 (OK)
2	27,10	20,38	188,96	324,45	84,36	144,84	84,36 > 50 (OK)	144,84 > 50 (OK)
3	27,10	20,38	188,96	324,45	84,36	144,84	84,36 > 50 (OK)	144,84 > 50 (OK)

Tabla 68. Verificación del brazo en dirección Y-Y

Nivel	Fe (ksi)	Fcr (ksi)	ØTn (kips)	ØPn (kips)	ØTn (t)	ØPn (t)	ØPn > Pu (t)	ØTn > Tu (t)
1	18,34	15,75	146,00	324,45	65,18	144,84	65,18 > 50 (OK)	144,84 > 50 (OK)
2	18,82	16,07	148,96	324,45	66,50	144,84	66,50 > 50 (OK)	144,84 > 50 (OK)
3	15,85	13,89	128,72	324,45	57,47	144,84	57,47 > 50 (OK)	144,84 > 50 (OK)

### 3.3.15 Determinación de los costos

Para estimar el costo de la edificación con un sistema de disipación de energía; primero se estimó el costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía y luego haciendo uso de los costos por metro cuadrado de construcción se determinó el costo de la edificación con un sistema de disipación de energía

Para estimar el costo por metro del sistema de disipación de energía se consideró los precios de los disipadores proporcionados por el fabricante y un área techada de 1 848,18 m<sup>2</sup>; el procedimiento de cálculo se ve en la tabla 69.

Tabla 69. Estimación el costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía

Descripción	Cantidad	Precio (US\$)	Parcial (US\$)
Disipador 500 KN	12	5 000,00	60 000,00
Disipador 250 KN	12	2 500,00	30 000,00
Conexiones	24	1 000,00	24 000,00
Costo total (US\$)			114 000,00
Costo/m <sup>2</sup> (US\$/m <sup>2</sup> )			61,68

El procedimiento de cálculo del costo de la edificación con un sistema de disipación de energía, se muestra en la tabla 70.

Tabla 70. Estimación del costo total del proyecto (US\$) y de la incidencia de los disipadores de energía en el costo total del proyecto (%).

Descripción	Área (m <sup>2</sup> )	Costo/m <sup>2</sup> (US\$/m <sup>2</sup> )	Parcial (US\$)
Estructuras	1 848,18	170,69*	315 465,84
Arquitectura	1 848,18	179,72*	332 154,91
Instalaciones sanitarias	1 848,18	32,16*	59 437,47
Instalaciones eléctricas	1 848,18	42,29*	78 159,53
Sistema de disipación de energía	1 848,18	61,68**	114 000,00
Costo directo (US\$)			899 217,75
Gastos generales - 8% (US\$)			71 937,42
Subtotal (US\$)			971 155,18
IGV - 18% (US\$)			174 807,93
Costo total (US\$)			1 145 963,11
Incidencia (%)			9,95***
Costo/m <sup>2</sup> (US\$/m <sup>2</sup> )			620,05****

- \* El costo por metro cuadrado de construcción del área de estructuras, arquitectura, instalaciones sanitarias e instalaciones eléctricas fueron extraídos de la publicación mensual del grupo S10 (GRUPO S10 2014).
- \*\* El costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía no considera ni a los gastos generales, ni al IGV, sólo el costo directo.
- \*\*\* La incidencia se calculó dividiendo el costo total del sistema de disipación de energía (US\$) entre el costo total del proyecto (US\$).
- \*\*\*\* El costo por metro cuadrado de la edificación utilizando disipadores de energía considera el costo directo, los gastos generales y el IGV.

De la estimación económica se obtuvo que el costo de la edificación con disipadores de energía sería de 1 145 963,11 US\$, siendo el costo por metro cuadrado de 620,05 US\$/m<sup>2</sup>.

También se obtuvo que el costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía es de 61,68 US\$/m<sup>2</sup>; este precio podría parecer muy elevado, pero es de considerarse que este precio corresponde a una estructura ideal y a un nivel de desempeño bastante ambicioso, como lo es un estado de daño moderado para un sismo muy raro.

Además se obtuvo que la incidencia de los disipadores en el costo de la edificación con disipadores de energía es de 9,95%; este valor es menor al que se obtendría con una reparación estructural (15 - 20%), por lo que representa un ahorro y mejora con respecto a una reparación estructural.

### **3.4 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados**

Para el tratamiento y análisis de datos, se procedió a ingresar la información recogida a través de los instrumentos de recolección de datos al programa SAP2000 V.15; y para la presentación de los resultados se elaboraron tablas y figuras en el programa Microsoft Excel.

# CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 4.1 Derivas

De los resultados obtenidos del análisis del Edificio Principal sin disipadores de energía se obtuvo que la edificación en la dirección X-X, alcanzaría una deriva máxima de 11,38‰ y en la dirección Y-Y, una deriva máxima de 8,30‰.

Luego con la inclusión de disipadores no lineales se obtuvo que las derivas se reducen, dichas derivas alcanzarían en la dirección X-X, un valor de 5,00‰ y en la dirección Y-Y, un valor de 4,57‰; consiguiendo su máximo porcentaje de reducción en el tercer nivel con un valor de 75% para la dirección X-X y con un valor de 61% para la dirección Y-Y. Estos porcentajes de reducción se pueden apreciar en la tabla 71.

Tabla 71. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X e Y-Y

Nivel	Sin disipadores	Disipadores no lineales		Disipadores no lineales	
		$\alpha = 0,50$	% Reduc.	$\alpha = 0,50$	% Reduc.
1	11,38‰	5,00‰	56,02%	4,57‰	38,32%
2	6,48‰	3,03‰	53,26%	4,17‰	42,79%
3	2,39‰	0,59‰	75,11%	1,79‰	50,29%

En otras investigaciones luego de haber incorporado a la estructura disipadores fluido viscosos también se ha logrado reducir las derivas, tal es el caso de Pardo (2007); Oviedo (2008); Guevara y Torres (2012); Cano y Zumaeta (2012); Morales y Contreras (2012); y Urrunaga (2013); esta reducción se puede apreciar en la tabla 72.

Tabla 72. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X entre la investigación realizada y las investigaciones de los antecedentes

Nivel	Edificación Estudiada	Edificación Pardo	Edificación Oviedo	Edificación Guevara y Torres	Edificación Cano y Zumaeta	Edificación Morales y Contreras	Edificación Urrunaga
1	56,02%	49,34%	50,00%	40,63%	47,50%	9,38%	55,31%
2	53,26%	52,34%	52,00%	36,67%	61,04%	37,93%	53,99%
3	75,11%	55,32%	54,69%	33,72%	72,73%	58,21%	
4		56,85%	58,11%	36,14%		64,41%	
5		54,54%	60,49%	46,34%			
6			63,10%	52,24%			
7			65,06%	62,00%			
8			67,09%				
9			67,61%				
10			66,67%				

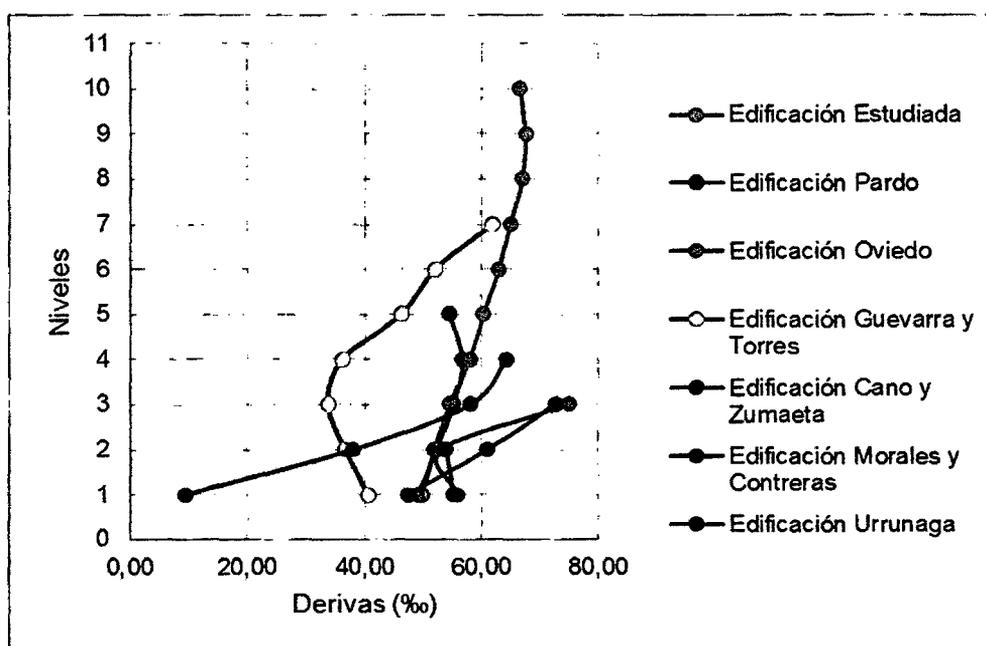


Figura 89. Comparación del porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X entre la investigación realizada y las investigaciones de los antecedentes

Esta reducción de deriva provoca que la estructura no trabaje en el rango inelástica, reduciendo así el posible daño que pudiera sufrir la estructura.

## 4.2 Fuerza cortante y momentos máximos en las columnas

También se determinó que con incorporación de disipadores fluido viscoso, se logró reducir la fuerza cortante y los momentos máximos, logrando un porcentaje máximo de reducción en el tercer nivel para la dirección X-X con un valor de 83% para la cortante y 79% para el momento. Esta reducción también se puede apreciar en la tabla 73 y 74.

Tabla 73. Porcentaje de reducción de la fuerza cortante máxima en la dirección X-X e Y-Y

Nivel	Dirección X-X			Dirección Y-Y		
	Sin disipadores	Disipadores no lineales	% Reduc.	Sin disipadores	Disipadores no lineales	% Reduc.
1	10,28	4,49	56,37	23,50	12,32	47,56
2	8,40	3,34	60,28	21,52	11,90	44,73
3	1,85	0,31	83,18	7,39	2,53	65,73

Tabla 74. Porcentaje de reducción del momento máximo en la dirección X-X e Y-Y

Nivel	Dirección X-X			Dirección Y-Y		
	Sin disipadores	Disipadores no lineales	% Reduc.	Sin disipadores	Disipadores no lineales	% Reduc.
1	26,67	13,12	50,79	66,32	34,72	47,65
2	16,21	7,89	51,33	41,96	24,70	41,13
3	5,45	1,17	78,52	22,31	8,43	62,21

En otras investigaciones luego de haber incorporado a la estructura disipadores fluido viscosos también se ha logrado reducir la fuerza cortante máxima y el momento máximo, tal es el caso de Pardo (2007); Oviedo (2008); Cano y Zumaeta (2012); y Urrunaga (2013); esta reducción se puede apreciar en la tabla 75.

Tabla 75. Porcentaje de reducción de la fuerza cortante máxima y el momento máximo

	Edificación Estudiada	Edificación Pardo	Edificación Oviedo	Edificación Cano y Zumaeta	Edificación Urrunaga
Fuerza cortante máxima	83,18%	10,40%	34,19%	60,02%	30,17%
Momento máximo	78,52%	7,90%	28,37%	66,91%	38,36%

Además cabe señalar que esta reducción, en el caso diseño de edificaciones nuevas, ayuda a reducir las secciones de las columnas y vigas.

### **4.3 Costo de la edificación con un sistema de disipación de energía y costo del sistema de disipación de energía**

Otra característica que se determinó en la investigación fue el costo de la edificación con un sistema de disipación de energía o costo del proyecto, para este proyecto se propuso el uso de 12 disipadores de 500 KN y 12 disipadores de 250 KN; el costo por metro cuadrado del proyecto equivale a 620,05 US\$/m<sup>2</sup>.

Además se determinó el costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía, el cual equivale a 61,68 US\$/m<sup>2</sup> y la incidencia del sistema de disipación en el costo total del proyecto bordea el 9,95%; este costo es relativamente mayor a los propuesto por otros autores.

Guevara y Torres (2012) en su investigación proponen para un amortiguamiento viscoso del 18%, el uso de 16 disipadores de 500 KN y 12 disipadores de 750 KN, cuyo costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía equivale a 30,10 US\$/m<sup>2</sup> y la incidencia del sistema de disipación en el costo total del proyecto bordea el 6,92%.

Cano y Zumaeta (2012) en su investigación proponen para un amortiguamiento viscoso del 18%, el uso de 10 disipadores de 250 KN y 2 disipadores de 500 KN; cuyo costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía equivale a 40,00 US\$/m<sup>2</sup> y la incidencia del sistema de disipación en el costo total del proyecto bordea el 8,97%.

Urrunaga (2013) en su investigación propone para un amortiguamiento viscoso del 15%, el uso de 16 disipadores de 500KN; cuyo costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía equivale a 37,65 US\$/m<sup>2</sup> y la incidencia del sistema de disipación en el costo total del proyecto bordea el 8,49%.

En nuestro caso, el costo del proyecto de reforzamiento con disipadores del Edificio Principal es mayor, porque el amortiguamiento viscoso (32%) para

alcanzar la deriva objetivo en la edificación estudiada es mayor a de las otras investigaciones.

#### **4.4 Contrastación de hipótesis**

Durante el desarrollo de la investigación se pudo contrastar la hipótesis debido a que los resultados del estudio indican que durante un evento sísmico el Edificio Principal de la UNC – Sede Jaén utilizando disipadores de energía, reduce las derivas de entrepiso, la fuerza cortante máxima y el momento máximo en las columnas. Mejorando así sustancialmente el comportamiento estructural de la edificación.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

- a) Del análisis del Edificio Principal sin disipadores de energía se obtuvo que la edificación en la dirección X-X, alcanzaría una deriva máxima de 11,38‰ y en la dirección Y-Y, una deriva máxima de 8,30‰.

Incorporando disipadores fluido viscosos no lineales a la edificación, la deriva máxima alcanzaría en la dirección X-X, un valor de 5,00‰ y en la dirección Y-Y, un valor de 4,57‰; esta reducción de derivas, evita la posibilidad que la estructura trabaje en el rango inelástico, reduciendo así el daño en la estructura.

- b) La utilización de disipadores fluido viscosos provoca una reducción en la fuerza cortante y el momento máximo de las columnas.
- c) El costo por metro cuadrado de la edificación utilizando un sistema de disipación de energía es de 620,05 US\$/m<sup>2</sup> y el costo por metro cuadrado del sistema de disipación de energía es de 61,68 US\$/m<sup>2</sup>; estos costos corresponde a una estructura con un nivel de desempeño de reguardo a la vida y un estado de daño moderado.

## **Recomendaciones**

- a) Se recomienda realizar esta investigación considerando la interacción sísmica suelo - estructura. Considerando la flexibilidad de la base de cimentación y las propiedades inerciales del suelo.
  
- b) Se recomienda que debido a la importancia del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén y a la posibilidad que tiene de sufrir graves daños frente a un sismo raro, sea reforzado a la brevedad posible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI (American Concrete Institute, US). 2008. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. ACI 318S-05. 520 p.
- AISC (American Institute of Steel Construction Inc., US). 2005. Steel Construction Manual. Thirteenth Edition. p. 1-94 - 1-99.
- ASCE (American Society of Civil Engineers, US). 2010. ASCE 7-10. Minimum Design Load for Building and Other Structures. Virginia, US. p. 179-197.
- Boza Farfán, ZE; Galán Tirapo, DJ. 2013. Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo Chevron. Tesis Ing. Civil. Lima, PE, PUCP. p. 1-64.
- Burgos, M. 2014. Ingeniería Estructural: Disipadores de Energía Fluido Viscoso. (en línea). Lima, PE. Consultado el 15 set. 2014. Disponible en: <http://www.mabieperu.com/publicaciones/publicaciones04pdf>
- Cano Lagos, H; Zumaeta Escobedo, EI. 2012. Diseño estructural de una edificación con disipadores de energía y análisis comparativo sísmico entre el edificio convencional y el edificio con disipadores de energía para un sismo severo Tesis Ing. Civil. Lima, PE, PUCP. p. 1-125.
- CDV. 2014. Ingeniería sísmica: Disipadores Taylor. (en línea). Lima, PE. Consultado el 29 ago. 2014. Disponible en: <http://www.cdvperu.com/disipadores-taylor/>
- CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico, CL). 2010. Protección Sísmica de Estructuras: Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. Santiago. p. 7-35.
- Cheng, FY; Jiang, H; Lou, K. 2008. Smart Structures: Innovative Systems for Seismic Response Control. US. p. 109-157.
- CISMID (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres). 2014. Red Acelerográfica: Registros Sísmicos. (en línea). Lima, PE. Consultado el 20 jul. 2014. Disponible en: <http://www.cismid-uni.org/redacis/index.php>

Constantinou, MC; Soong, TT; Dargush, GF. 1998. Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit. US. p. 1 - 87.

FEMA (Federal Emergency Management Agency, US). 2000. FEMA 356. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building. Washington, DC. p. 9-1 - 9-37.

(\_\_\_\_\_). 2003. Mitigation Division. Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model. HAZUS@MH MR4. Technical Manual. Washington, DC. p. 5-1 - 5-81.

Grupo S10. 2014. Costos: Construcción, Arquitectura e Ingeniería. Edición 244. Lima, PE. p. 85-86.

Guevara Huatuco, DN; Torres Arias, PO. 2012. Diseño de un edificio aporricado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal. Tesis Ing. Civil. Lima, PE, PUCP. p. 1-87.

Hwang, JS. 2002. Seismic Design of Structures with Viscous Dampers. (en línea). PE. Consultado el 30 jul. 2014. Disponible en: [http://www.ncree.org.tw/itp2002/08\\_seismicdesignofstructureswithviscousdampers.pdf](http://www.ncree.org.tw/itp2002/08_seismicdesignofstructureswithviscousdampers.pdf)

MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, PE). 2006. Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma E.020 Cargas. p. 365-374.

(\_\_\_\_\_). 2006. Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma E.030 Diseño Sismorresistente. p. 375-385.

Morales Díaz, LJ; Contreras Bálaro, JJ. 2012. Protección de una edificación existente con disipadores de energía. Tesis Ing. Civil. Lima, PE, PUCP. p. 1-69.

Muñoz Peláez, A. 1999. Ingeniería Sismorresistente. Lima, PE. p. 39-43.

Oviedo Sarmiento, RR. 2008. Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismorresistente de estructuras. Tesis Mag. Ing. Estr. Lima, PE, UNI. p. 1-235.

Pardo Verdugo, JP. 2007. Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal. Tesis Ing. Civil. Valdivia, CL, UACH. p. 1-130.

- Reyes Bernilla, CD. 2013. Evaluación del comportamiento estructural sismo resistente del Edificio Principal de la UNC – Sede Jaén. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, PE, UNC. p. 1-87.
- Romero Urrunaga, DO. 2013. Diseño de edificaciones con disipadores de energía sísmica de tipo fluido viscoso. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, PE, UNC. p. 1-136.
- SEAOC (Structural Engineers Association of California, US). 1995. A Framework for Performance Based Design. Vision 2000 Committee. California. Vol. 1.
- Taylor. 2013. Technical Literature On-Line. (en línea). New York, US. Consultado el 1 set. 2014. Disponible en: <http://taylordevices.com/literature.html>
- Villarreal Castro, G; Oviedo Sarmiento R. 2009. Edificaciones con Disipadores de Energía. Lima, PE. p. 6-44.
- Villarreal Castro, G. 2010. Ingeniería Estructural. (en línea). PE. Consultado el 20 ago. 2014. Disponible en: <http://gennervillarrealcastro.blogspot.com/>
- Villarreal Castro, G. 2013. Ingeniería Sismo-Resistente: Práctica y exámenes. Lima, PE. p. 5-70.
- WCEE World Conference on Earthquake Engineering (13, 2004, Vancouver B.C., Canada). 2004. Simple Procedure for Preliminary Design of Structural Dampers. Liu, W; Tong, M; Lee, GC. Vancouver B.C., Canada. p. 1-11.

**ANEXO N° A**  
**GUÍA DE OBSERVACIÓN**

# ANEXO N° A

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL - SEDE JAÉN**

**Tesis:** Evaluación del diseño con disipadores de energía del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén

## GUÍA DE OBSERVACIÓN

**Objeto de Observación:**

Proceso para determinar las características del edificio principal de la universidad nacional de Cajamarca - Sede Jaén.

**Observador:**

Bach. Yanire Soledad Calderón Terrones.

**Nombre de la edificación:**

Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén.

**Dirección de la edificación:**

Intersección de Calle Arana Vidal y Calle Marieta.

**Fecha de aplicación:**

10/09/2014

**Instrucciones:** Observe las características de la edificación y llene las siguientes opciones.

### 1. DATOS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN

**1.1 Uso de la edificación**

La edificación es una universidad.

**1.2 Dimensiones de la edificación**

Largo : 33,30 m

Ancho : 18,00 m

**1.3 Número de pisos de la edificación**

La edificación cuenta con 3 pisos.

#### 1.4 Antigüedad de la edificación

El primer nivel fue construido en el año 1993, por lo que tiene 21 años.

El segundo y tercer nivel fueron construidos en el año 2007, por lo que tiene 7 años.

#### 1.5 Altura de entepiso

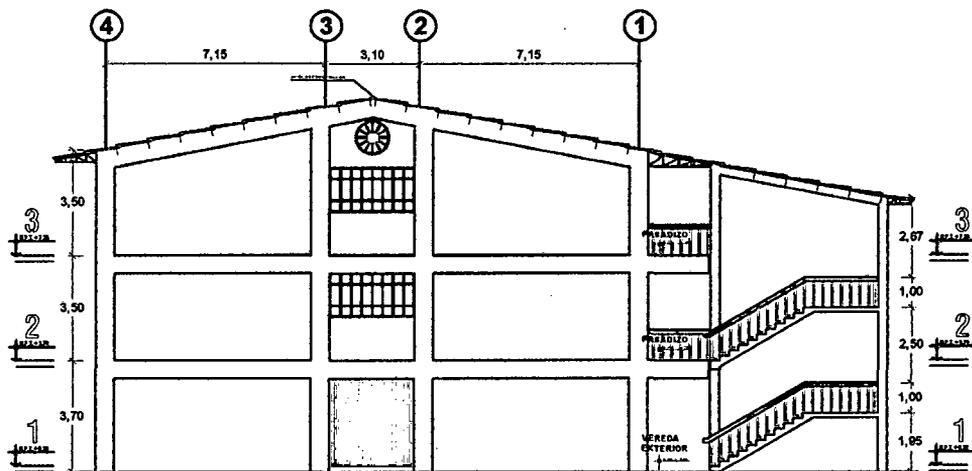
El primer nivel tiene una altura de 3,70 m.

El segundo nivel tiene una altura de 3,50 m.

El tercer nivel tiene una altura de 5,25 m.

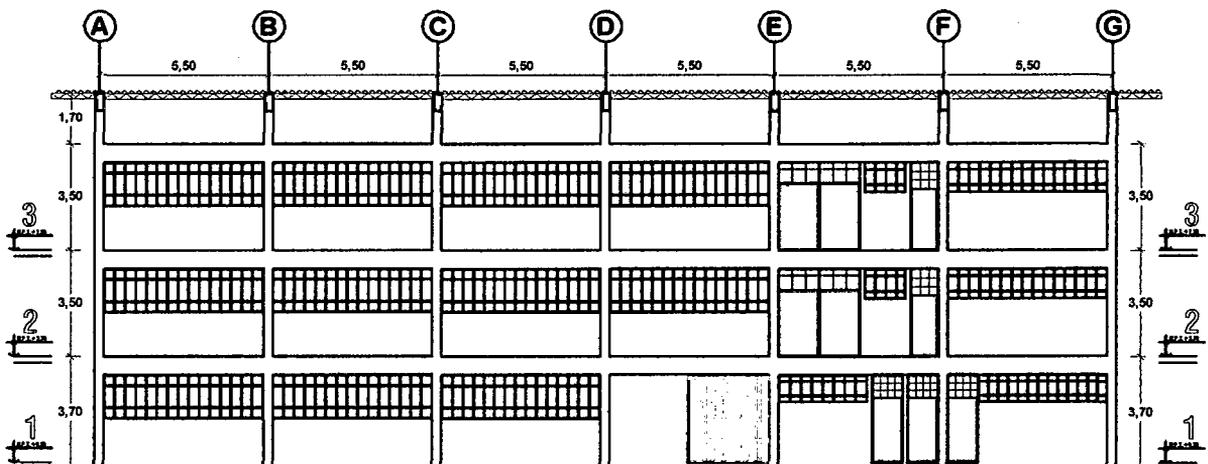
#### 1.6 Altura total de la edificación

La altura total de la edificación es de 12,45 m.



**ELEVACIÓN A-A**

(ESC.: 1/200)



**ELEVACIÓN B-B**

(ESC.: 1/200)

## **2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

### **2.1 Cimentación**

La cimentación se encuentra constituida por zapatas aisladas de dimensión de 2,80 m x 2,80 m y zapatas combinadas dimensión de 2,80 m x 6,50 m, las cuales se encuentran conectadas por vigas de cimentación de dimensiones de 0,30 m x 0,55 m.

### **2.2 Columnas**

Las columnas del primer al tercer nivel son de dimensiones de 0,30 m x 0,60 m.

### **2.3 Vigas**

Las vigas principales del primer al tercer nivel son de dimensiones de 0,30 m x 0,60 m.

Las vigas secundarias del primer al tercer nivel son de dimensiones de 0,30 m x 0,60 m.

### **2.4 Muros**

Los muros son no portantes.

### **2.5 Techos**

Los techos del primer y segundo nivel están conformados por losas aligeradas de espesor de 20 cm.

El techo del tercer nivel es de estructura metálica.

### **2.6 Escalera**

La escalera está separada de la edificación por una junta de dilatación de 10 cm y además tiene espesor de 15 cm.

### **2.7 Otros**

No existen otros elementos estructurales.

### **3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**

El techo del tercer nivel tiene un falso cielo raso.

Los muros están dispuestos en aparejo tipo cabeza y tipo soga. Los muros en aparejo tipo cabeza se encuentran ubicados en el perímetro de la edificación y los muros de en aparejo tipo soga se encuentran ubicados dentro de la edificación

### **4. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO Y DEL ACERO**

**4.1 Resistencia a compresión del concreto :**  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

**4.2 Esfuerzo de fluencia del acero :**  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

### **5. PARÁMETROS SÍSMICOS**

#### **5.1 Zonificación Sísmica**

La edificación se encuentra ubicada en la zona 3 (Zona de alta sismicidad).

#### **5.2 Condiciones Geotécnicas**

La edificación se encuentra ubicada sobre un suelo flexible con una capacidad portante de  $0,90 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **5.3 Categoría de la Edificación**

La edificación es de categoría esencial, porque es una universidad.

#### **5.4 Configuración Estructural**

Es una edificación irregular porque presenta discontinuidades significativas.

#### **5.5 Sistema Estructural**

La edificación es de concreto armado y está constituida por pórticos.  
Es una edificación aporticada.

## **6. DEFICIENCIAS EN LA EDIFICACIÓN**

### **6.1 Deficiencias en los elementos estructurales de la edificación**

El primer nivel presenta el problema de columna corta, ya que los muros restringen el movimiento de las columnas.

### **6.2 Deficiencias en los elementos no estructurales de la edificación**

No existe deficiencias es los elementos no estructurales.

### **6.3 Otras deficiencias**

No existen otras deficiencias.

## **7. OTRAS OBSERVACIONES**

La edificación cuenta con un ducto por donde pasan las tuberías de las instalaciones sanitarias.

**ANEXO N° B**  
**ENSAYO DEL ESCLERÓMETRO**

# ANEXO N° B

## MÉTODO ESTANDAR DEL NÚMERO DE REBOTES EN CONCRETO ENDURECIDO (A.S.T.M C 805-97)

**MATERIAL** : CONCRETO SIMPLE  
**TESIS** : EVALUACIÓN DEL DISEÑO CON DISIPADORES DE ENERGÍA DEL EDIFICIO PRINCIPAL DE LA  
 : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA - SEDE JAÉN  
**UBICACIÓN** : REGIÓN: CAJAMARCA. PROVINCIA: JAÉN. : DISTRITO: JAÉN.  
**FECHA** : 29/09/2014  
**NORMA TÉCNICA** : A.S.T.M. C 805 - 97.  
**SOLICITANTE** : YANIRE SOLEDAD CALDERÓN TERRONES  
**RESPONSABLE** : ING. JOSE LEZAMA LEIVA

Columna $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
UBICACIÓN DE ENSAYO	N° REBOTE	ACEPTACIÓN
COLUMNA PRIMER PISO	30	VALIDO
	32	VALIDO
	34	VALIDO
	35	VALIDO
	40	VALIDO
	30	VALIDO
	30	VALIDO
	34	VALIDO
	34	VALIDO
	32	VALIDO

Viga $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
UBICACIÓN DE ENSAYO	N° REBOTE	ACEPTACIÓN
VIGA PRIMER PISO	34	VALIDO
	32	VALIDO
	36	VALIDO
	40	VALIDO
	34	VALIDO
	36	VALIDO
	36	VALIDO
	40	VALIDO
	38	VALIDO
	40	VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLERÓMETRO	
PROMEDIO	33
DESVIACIÓN ESTANDAR	3,07

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLERÓMETRO	
PROMEDIO	37
DESVIACIÓN ESTANDAR	2,84

DATO DEL N° REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	3 450 P.S.I
	243 $\text{kg/cm}^2$

DATO DEL N° REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	4 365 P.S.I
	307 $\text{kg/cm}^2$

**MÉTODO ESTANDAR DEL NÚMERO DE REBOTES EN CONCRETO ENDURECIDO  
(A.S.T.M C 805-97)**

**MATERIAL** : CONCRETO SIMPLE  
**TESIS** : EVALUACIÓN DEL DISEÑO CON DISIPADORES DE ENERGÍA DEL EDIFICIO PRINCIPAL DE LA  
: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA - SEDE JAÉN  
**UBICACIÓN** : REGIÓN: CAJAMARCA. PROVINCIA: JAÉN. : DISTRITO: JAÉN.  
**FECHA** : 29/09/2014  
**NORMA TÉCNICA** : A.S.T.M. C 805 - 97.  
**SOLICITANTE** : YANIRE SOLEDAD CALDERÓN TERRONES  
**RESPONSABLE** : ING. JOSE LEZAMA LEIVA

Columna $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN
COLUMNA SEGUNDO PISO	35	VALIDO
	33	VALIDO
	33	VALIDO
	37	VALIDO
	35	VALIDO
	33	VALIDO
	35	VALIDO
	33	VALIDO
	33	VALIDO
	37	VALIDO

Viga $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN
VIGA SEGUNDO PISO	32	VALIDO
	37	VALIDO
	33	VALIDO
	33	VALIDO
	39	VALIDO
	35	VALIDO
	31	VALIDO
	35	VALIDO
	37	VALIDO
	32	VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLERÓMETRO	
PROMEDIO	34
DESVIACIÓN ESTANDAR	1,65

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLERÓMETRO	
PROMEDIO	34
DESVIACIÓN ESTANDAR	2,63

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	3 700 P.S.I
	260 $\text{kg/cm}^2$

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	3 700 P.S.I
	260 $\text{kg/cm}^2$

**MÉTODO ESTANDAR DEL NÚMERO DE REBOTES EN CONCRETO ENDURECIDO  
(A.S.T.M C 805-97)**

**MATERIAL** : CONCRETO SIMPLE  
**TESIS** : EVALUACIÓN DEL DISEÑO CON DISIPADORES DE ENERGÍA DEL EDIFICIO PRINCIPAL DE LA  
: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA - SEDE JAÉN  
**UBICACIÓN** : REGIÓN: CAJAMARCA. PROVINCIA: JAÉN. : DISTRITO: JAÉN.  
**FECHA** : 29/09/2014  
**NORMA TÉCNICA** : A.S.T.M. C 805 - 97.  
**SOLICITANTE** : YANIRE SOLEDAD CALDERÓN TERRONES  
**RESPONSABLE** : ING. JOSE LEZAMA LEIVA

Columna $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN
COLUMNA TERCER PISO	38	VALIDO
	34	VALIDO
	36	VALIDO
	34	VALIDO
	36	VALIDO
	32	VALIDO
	34	VALIDO

Viga $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN
VIGA TERCER PISO	31	VALIDO
	32	VALIDO
	31	VALIDO
	36	VALIDO
	34	VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLERÓMETRO	
PROMEDIO	35
DESVIACIÓN ESTANDAR	1,65

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLERÓMETRO	
PROMEDIO	33
DESVIACIÓN ESTANDAR	1,58

DATO DEL N° REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	3 950 P.S.I
	278 $\text{kg/cm}^2$

DATO DEL N° REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	3 450 P.S.I
	243 $\text{kg/cm}^2$

**ANEXO N° C**  
**PANEL FOTOGRAFICO**

# ANEXO N° C

## PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 90. Vista frontal del Edificio Principal de la Universidad Nacional Cajamarca – Sede Jaén, con la posible ubicación de los disipadores en la dirección Y-Y

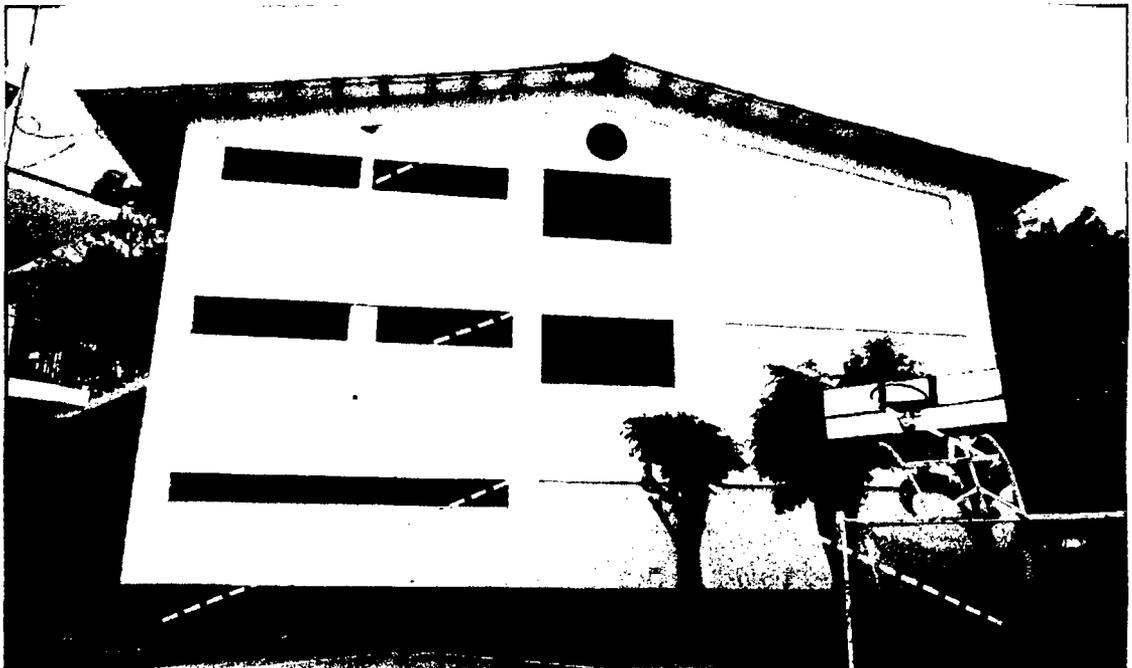


Figura 91. Vista posterior del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén, con la posible ubicación de los disipadores en la dirección Y-Y



Figura 92. Vista lateral derecha del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén, con la posible ubicación de los disipadores en en la dirección X-X

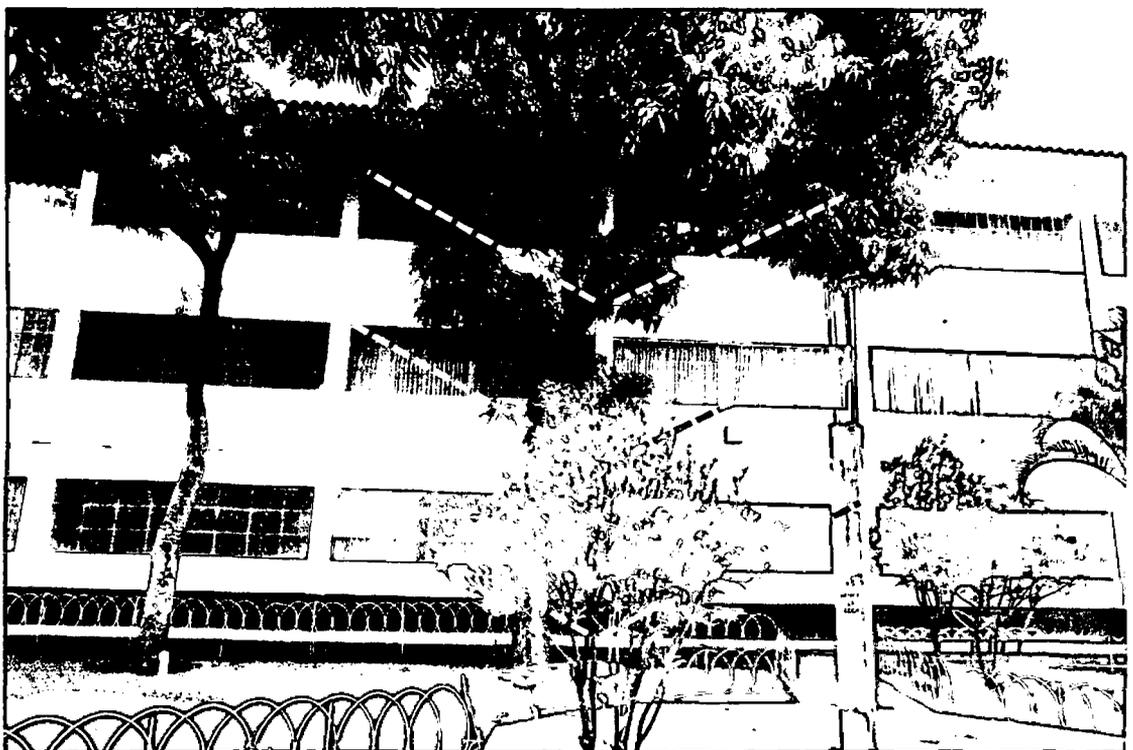


Figura 93. Vista lateral izquierda del Edificio Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén, con la posible ubicación de los disipadores en la dirección X-X

**ANEXO N° D**  
**PLANOS**