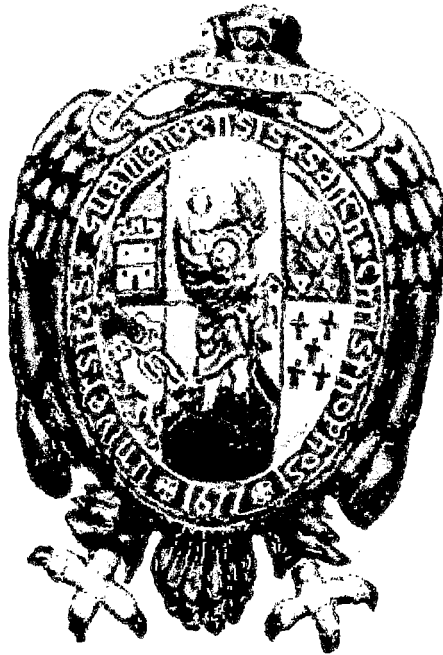


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA, Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

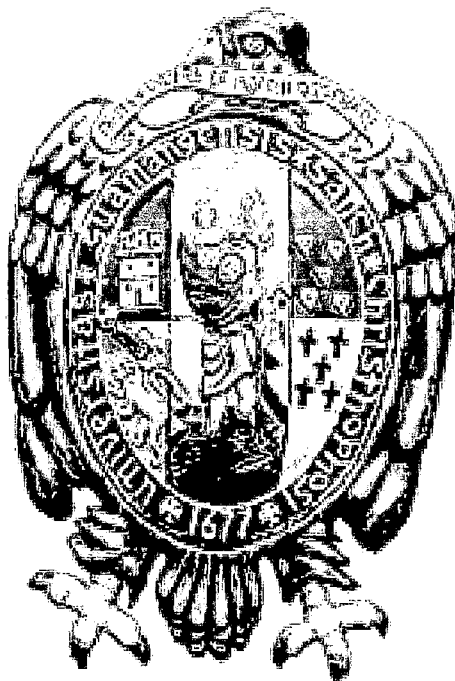
**DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES CON
DISIPADORES DE ENERGÍA TIPO AISLADORES
DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL
PABELLÓN DE LA ESCUELA DE AGRONOMÍA**

Presentado por: Gómez Taype, Willy Anderson

AYACUCHO PERÚ

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA, Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL
Willy Anderson
**DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES CON
DISIPADORES DE ENERGÍA TIPO AISLADORES
DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL
PABELLÓN DE LA ESCUELA DE AGRONOMÍA**

Presentado por: Gómez Taype, Willy Anderson

AYACUCHO PERÚ

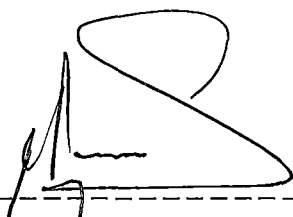
2015

7ebis
Civ 437
Gom
g. 1

**“DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO
AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA
DE AGRONOMIA”**

RECOMENDADO : 10 DE JULIO DEL 2015

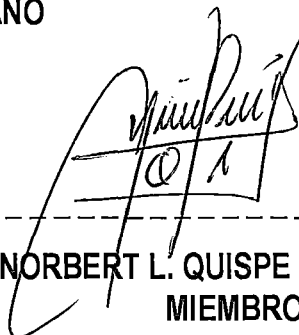
APROBADO : 10 DE SETIEMBRE DEL 2015



MSc. Ing. CARLOS A. PRADO PRADO
DECANO



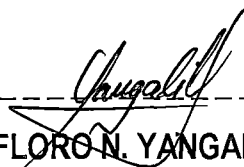
Ing. JAVIER TAÏPE CARBAÏAL
PRESIDENTE



Ing. NORBERT L. QUISPE AUCCAPUCÏLLA
MIEMBRO



Ing. RUBEN A. YACHAPA CONDEÑA
MIEMBRO



Ing. FLORO N. YANGALI GUERRA
SECRETARIO DOCENTE

Según el acuerdo constatado en el acta, levantada el 10 de setiembre de 2015, en la Sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil Sr Willy Anderson GOMEZ TAYPE, con la tesis titulado "DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA", fue calificado con la nota de QUINCE (15) por lo que se da la respectiva APROBACION.

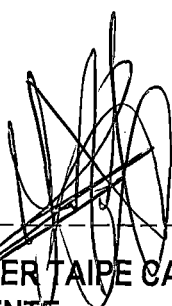
RECOMENDADO : 10 DE JULIO DEL 2015

APROBADO : 10 DE SETIEMBRE DEL 2015

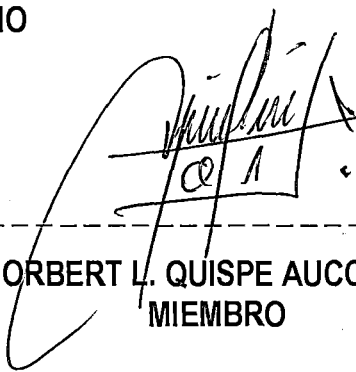


MSc. Ing. CARLOS A. PRADO PRADO

DECANO



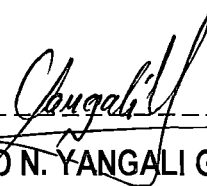
Ing. JAVIER TAIPE CARBAJAL
PRESIDENTE



Ing. NORBERT L. QUISPE AUCCAPUCLLA
MIEMBRO



Ing. RUBEN A. YACHAPA CONDEÑA
MIEMBRO



Ing. FLORO N. YANGALI GUERRA
SECRETARIO DOCENTE

Índice general

Lista de figuras	7
Lista de tablas	21
I INTRODUCCIÓN	25
1. Introducción	27
1.1. Antecedentes	27
1.2. Planteamiento del problema	29
1.3. Justificación	30
1.4. Objetivos	30
1.5. Organización de la Tesis	31
II ESTADO DEL CONOCIMIENTO	35
2. Conceptos Generales	37
2.1. Realidad Sísmica del Perú y Ayacucho	37
2.1.1. Realidad sísmica del Perú	37
2.1.2. Realidad sísmica de Ayacucho	37
2.2. Filosofía de Diseño Sísmico Convencional y Tendencias Actuales . .	41
2.3. Disipación de Energía	43
2.4. Sistemas de Protección Sísmica	45
2.4.1. Sistemas de Protección Sísmica	45
2.4.2. Tipos de Sistemas de Protección Sísmica	45
2.5. Aislamiento Sísmico	49
2.6. Historia y Desarrollo del Aislamiento Sísmico	49

2.6.1. Historia del Aislamiento Sísmico	49
2.6.2. Historia de la reglamentación del Aislamiento Sísmico	56
2.7. Tipos de Aisladores	59
2.8. Comportamiento de Sistema Aisladores, Estructura y Cimentación	67
3. Teoría Dinámica de Estructuras con Aisladores	71
3.1. Sistema Aporticado Plano con Aisladores.	71
3.2. Sistema Aporticado Espacial con Aisladores.	78
4. Normas de Diseño de Edificaciones con Aislamiento Sísmico	89
4.1. Uniform Building Code (UBC-1997)	89
4.2. Reglamento Chileno NCH 2745 de 2003	99
4.3. Reglamento ASCE/SEI 7-10	109
III MATERIALES Y MÉTODOS	119
5. Norma de Diseño Sismorresistente E-030	121
6. Adaptación del ASCE/SEI 7-10 a los parámetros del RNE-030	129
7. Metodología de diseño de los Aisladores Elastoméricos	135
8. Modelación bilineal de los aisladores elastoméricos.	177
9. Uso del programa AISLAND V 1.0	181
IV PROCESAMIENTO DE DATOS Y RESULTADOS	213
10. Características de la Estructura Convencional y Aislada	215
10.1. Características de la estructura convencional	215
10.2. Características de la estructura aislada	216
11. Análisis y Diseño Convencional de la Estructura Existente	229
11.1. Datos para el análisis	229
11.2. Análisis de la estructura existente	233
11.3. Análisis y diseño de estructura propuesta	234

12. Diseño del Aislamiento Basal de la Estructura	269
12.1. Datos previos al diseño	269
12.2. Caso 1: Diseño del aislamiento basal con aisladores HDR	273
12.3. Caso 2: Diseño del aislamiento basal con aisladores LRB	282
12.4. Caso 3: Diseño de aislamiento basal con dos tipos de aisladores HDR	293
12.5. Caso 4: Diseño de aislador HDR combinado con LRB	302
12.6. Modelación bilineal de aisladores	317
12.7. Diseño del sistema de aislamiento con AISLAND V1.0	326
13. Análisis y Diseño de la Estructura Aislada	363
13.1. Modelación del Aislamiento de la Estructura en Etabs v13.	363
13.1.1. Procedimiento general de definición de aisladores.	364
13.1.2. Propiedades direccionales de aisladores a usar.	365
13.2. Análisis Modal Espectral	373
13.3. Análisis Tiempo Historia.	390
13.4. Esfuerzos en los elementos de la estructura aislada.	420
13.5. Diseño de Elementos de Concreto Armado.	463
14. Análisis y Comparación de Costos	495
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	501
15. Conclusiones	503
16. Recomendaciones	507
VI BIBLIOGRAFIA	509
VII ANEXO	515
Anexo A	517
1. Reglamento ASCE/SEI 7-10	517
2. Reglamento NCH 2745	517

Anexo B	519
1. Catalogo de Aisladores Sísmicos DIS	519
Anexo C	541
1. Espectros sísmicos Utilizados	541
Anexo D	545
1. Metrados para Comparación de Precios	545
1.1. Metrados de Estructura Convencional	545
1.2. Metrados de Estructura Aislada	545
Anexo E	555
1. Planos	555
1.1. Planos de la Estructura Convencional Existente	555
1.2. Planos de la Estructura Aislada	555

Índice de figuras

2.1. Mapa del cinturón de fuego del Pacífico y de las placas tectónicas a nivel mundial	38
2.2. Principales eventos sísmicos relacionados con el área en estudio . . .	40
2.3. Comportamiento sísmico de estructura convencional frente a una excitación sísmica baja, mediana y alta.	42
2.4. Comportamiento sísmico de estructura con sistemas de protección frente a una excitación sísmica baja, mediana y alta.	43
2.5. Esquema de funcionamiento de un sistema activo.	46
2.6. Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido. Siendo PED el dispositivo pasivo disipador de energía, que actúa junto a la estructura.	47
2.7. Esquema de funcionamiento de un sistema Semi-Activo. Siendo PED el dispositivo pasivo disipador de energía que actúa junto a los actuadores de control	48
2.8. Esquema de funcionamiento de un sistema pasivo.	48
2.9. Palacio de Knossos-Grecia 2000 A.C	50
2.10. Partenón-Grecia 400 A.C	50
2.11. Partenón-Grecia 400 A.C	50
2.12. Escuela Pestalozzi en Skopje - Yugoslavia.	51
2.13. El Centro de Leyes y Justicia de las Comunidades de la Colina (FCLJC) en los Ángeles.	52
2.14. Edificio del Centro de Operaciones de Emergencia(EOC).	52
2.15. Edificio de Los Angeles City Hall.	53
2.16. Edificio de San Francisco City Hall.	54
2.17. Evolución del uso del aislamiento sísmico a nivel mundial al año 2004.	54
2.18. Evolución del uso del aislamiento sísmico en Japón al año 2004. . . .	55

2.19. Evolución del uso del aislamiento sísmico en China al año 2004.	55
2.20. Conjunto habitacional Comunidad Andalucía.	56
2.21. Centro médico San Carlos de Apoquindo de la Universidad Católica de Chile.	56
2.22. Construcción de edificio corporativo de la empresa nacional Graña y Montero.	57
2.23. Primeros aisladores instalados en la escuela Pestalozzi sin refuerzo de laminas de acero.	60
2.24. Aislador tipo LDR version actual con refuerzos de laminas de acero.	60
2.25. Composición de los aisladores tipo LDR.	61
2.26. Colocación del aislador tipo HDR.	62
2.27. Aislador tipo HDR.	62
2.28. Composición de los aisladores tipo HDR.	62
2.29. Aislador tipo LRB.	64
2.30. Composición de los aisladores tipo LRB.	64
2.31. Colocación del aislador tipo FPS.	65
2.32. Aislador tipo FPS.	65
2.33. Composición de los aisladores tipo FPS.	65
2.34. Aislador con sistema de resortes.	66
2.35. Colocación del aislador con sistema de resortes.	66
2.36. Comparación de estructuras con cimentación con respecto a su altura.	68
2.37. Comparación de estructuras con aisladores con respecto a su altura.	68
2.38. Comparación de estructuras con aisladores con respecto al tipo de suelo.	69
2.39. Variación de la aceleración en el tiempo, en función del incremento del amortiguamiento.	70
2.40. Variación del desplazamiento en el tiempo, en función del incremento del amortiguamiento.	70
3.1. Modelamiento de un pórtico plano con aisladores.	71
3.2. Primer y segundo modo de vibración en pórtico plano aislado	74
3.3. Modelamiento de un sistema aporticado espacial con aisladores.	78
3.4. Grados de libertad de un sistema aporticado tridimensional.	79
3.5. Definición de los sistemas resistentes.	80
3.6. Orientación de la columna en el sistema de coordenadas.	81

3.7. Orientación de la columna en el sistema de coordenadas.	81
5.1. Zonificación sísmica reglamento E-030.	122
7.1. Dimensiones de aislador sísmico modelo.	136
7.2. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento tipo HDR.	171
7.3. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento tipo LRB.	172
7.4. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento combinado de tipo HDR1 y HDR2 (Parte1).	173
7.5. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento combinado de tipo HDR1 y HDR2 (Parte2).	174
7.6. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento combinado de tipo LRB y HDR (Parte1).	175
7.7. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento combinado de tipo LRB y HDR (Parte2).	176
8.1. Parametros de la modelación bilineal.	178
9.1. Ingreso al programa.	182
9.2. Ingreso de los datos iniciales.	195
9.3. Diseño del aislador HDR	196
9.4. Ingreso de los datos iniciales.	197
9.5. Diseño del aislador LRB	198
9.6. Ingreso de los datos iniciales	199
9.7. Datos preliminares de diseño	200
9.8. Resultados de las propiedades generales del sistema	201
9.9. Diseño del aislador tipo: HDR1	202
9.10. Diseño del aislador tipo: HDR2	203
9.11. Ingreso de los datos iniciales	204
9.12. Datos preliminares de diseño	205
9.13. Resultados de las propiedades generales del sistema	206
9.14. Diseño del aislador tipo: HDR	207
9.15. Diseño del aislador tipo: LRB	208

9.16. Propiedades geométricas del aislador diseñado.	209
9.17. Datos para la modelación bilineal del aislador	210
9.18. Gráfico la modelación bilineal del aislador	211
10.1. Estructura modelo considerada para el diseño con aisladores.	218
10.2. Planta típica piso 1.	219
10.3. Planta típica piso 2.	220
10.4. Planta típica piso 3.	221
10.5. Planta típica piso 4.	222
10.6. Elevación principal.	223
10.7. Elevación posterior.	224
10.8. Corte típico.	225
10.9. Ubicación de los aisladores en estructura modelada.	225
10.10 Vista en elevación de la ubicación de los aisladores sísmicos y cimen- tación de concreto.	226
10.11 Configuración del sistema de aislamiento del primer caso:HDR . . .	226
10.12 Configuración del sistema de aislamiento del segundo caso:LRB . . .	227
10.13 Configuración del sistema de aislamiento del tercer caso:HDR1+HDR2	227
10.14 Configuración del sistema de aislamiento del cuarto caso:HDR+LRB	228
11.1. Calculo del espectro de diseño sísmico.	236
11.2. Calculo de estructura existente en programa Etabs v13	237
11.3. Resultados de derivas máximas	237
11.4. Eje 1-1, calculo por chequeo de acero de la estructura existente. . . .	238
11.5. Eje 7-7, calculo por chequeo de acero de la estructura existente. . . .	238
11.6. Configuración estructural modificada para cumplimiento de solicita- ciones del RNE	239
11.7. Modelamiento de la estructura propuesta en Etabs V13.0	239
11.8. Resultados de derivas máximas	240
11.9. Diagrama de momento flector eje 1-1	240
11.10 Diagrama de momento flector eje 2-2	241
11.11 Diagrama de momento flector eje 3-3	241
11.12 Diagrama de momento flector eje 4-4	242
11.13 Diagrama de momento flector eje 5-5	242

11.14Diagrama de momento flector eje 6-6	243
11.15Diagrama de momento flector eje 7-7	243
11.16Diagrama de momento flector eje 8-8	244
11.17Diagrama de momento flector eje D-D	245
11.18Diagrama de momento flector eje E-E	246
11.19Diagrama de momento flector eje F-F	247
11.20Diagrama de momento flector eje H-H	248
11.21Diagrama de fuerza cortante eje 1-1	249
11.22Diagrama de fuerza cortante eje 2-2	249
11.23Diagrama de fuerza cortante eje 3-3	250
11.24Diagrama de fuerza cortante eje 4-4	250
11.25Diagrama de fuerza cortante eje 5-5	251
11.26Diagrama de fuerza cortante eje 6-6	252
11.27Diagrama de fuerza cortante eje 7-7	252
11.28Diagrama de fuerza cortante eje 8-8	253
11.29Diagrama de fuerza cortante eje D-D	254
11.30Diagrama de fuerza cortante eje E-E	255
11.31Diagrama de fuerza cortante eje F-F	256
11.32Diagrama de fuerza cortante eje H-H	257
11.33Diagrama de fuerza axial eje 1-1	258
11.34Diagrama de fuerza axial eje 2-2	258
11.35Diagrama de fuerza axial eje 3-3	259
11.36Diagrama de fuerza axial eje 4-4	259
11.37Diagrama de fuerza axial eje 5-5	260
11.38Diagrama de fuerza axial eje 6-6	260
11.39Diagrama de fuerza axial eje 7-7	261
11.40Diagrama de fuerza axial eje 8-8	261
11.41Calculo del acero para el eje 1-1	262
11.42Calculo del acero para el eje 2-2	263
11.43Calculo del acero para el eje 3-3	263
11.44Calculo del acero para el eje 4-4	264
11.45Calculo del acero para el eje 5-5	264
11.46Calculo del acero para el eje 6-6	265

11.47Calculo del acero para el eje 7-7 266

11.48Calculo del acero para el eje 8-8 266

11.49Pórtico representativo para ejes 1-1 y 7-7 267

11.50Pórtico representativo para ejes 2-2,3-3,4-4,5-5,6-6 267

11.51Secciones con aceros de columnas diseñados 268

11.52Secciones para cada columna por ejes 268

12.1. Modelamiento de estructura con losa adicional en la base 270

12.2. Eje 5-5 con la máxima reacción en la base 271

12.3. Eje 1-1 con la mínima reacción en la base 271

12.4. Dimensiones de los aisladores producidos por el fabricante 273

12.5. Datos técnicos de los aisladores producidos por el fabricante 274

12.6. Dimensiones del aislador 274

12.7. Caso HDR: Ingreso al programa. 327

12.8. Caso HDR: Datos iniciales. 328

12.9. Caso HDR: Diseño del aislador. 329

12.10Caso HDR: Dimensiones geométricas del aislador. 330

12.11Caso HDR: Parámetros para la modelación bilineal del aislador. 331

12.12Caso HDR: Gráfico de la modelación bilineal del aislador. 332

12.13Caso LRB: Ingreso al programa. 333

12.14Caso LRB: Datos iniciales. 334

12.15Caso:LRB Diseño del aislador. 335

12.16Caso LRB: Dimensiones geométricas del aislador. 336

12.17Caso LRB: Parametros para la modelación bilineal del aislador. 337

12.18Caso LRB: Gráfico de la modelación bilineal del aislador. 338

12.19Caso HDR1+HDR2:Ingreso al programa. 339

12.20Caso HDR1+HDR2:Datos iniciales. 340

12.21Caso HDR1+HDR2:Datos preliminares generales y para cada tipo de
aislador. 341

12.22Caso HDR1+HDR2:Resultados de las propiedades generales del sis-
tema aislado. 342

12.23Caso HDR1+HDR2:Ventana de diseño del aislador tipo HDR1. 343

12.24Caso HDR1+HDR2:Dimcnsiones geométricas del aislador diseñado
HDR1. 344

12.25Caso HDR1+HDR2: Parámetros para la modelación bilineal del aislador HDR1.	345
12.26Caso HDR1+HDR2:Gráfico de la modelación bilineal del aislador HDR1.	346
12.27Caso HDR1+HDR2:Ventana de diseño del aislador tipo HDR2. . . .	347
12.28Caso HDR1+HDR2:Dimensiones geométricas del aislador diseñado HDR2.	348
12.29Caso HDR1+HDR2: Parámetros para la modelación bilineal del aislador HDR2.	349
12.30Caso HDR1+HDR2:Gráfico de la modelación bilineal del aislador HDR2.	350
12.31Caso HDR+LRB:Ingreso al programa.	351
12.32Caso HDR+LRB:Datos iniciales.	352
12.33Caso HDR+LRB:Datos preliminares generales y para cada tipo de aislador.	353
12.34Caso HDR+LRB:Resultados de las propiedades generales del sistema aislado.	354
12.35Caso HDR+LRB:Ventana de diseño del aislador tipo HDR.	355
12.36Caso HDR+LRB:Dimensiones geométricas del aislador diseñado HDR.356	
12.37Caso HDR+LRB: Parámetros para la modelación bilineal del aislador HDR.	357
12.38Caso HDR+LRB:Gráfico de la modelación bilineal del aislador HDR. 358	
12.39Caso HDR+LRB:Ventana de diseño del aislador tipo LRB.	359
12.40Caso HDR+LRB:Dimensiones geométricas del aislador diseñado LRB. 360	
12.41Caso HDR+LRB: Parámetros para la modelación bilineal del aislador LRB.	361
12.42Caso HDR+LRB:Gráfico de la modelación bilineal del aislador LRB. 362	
13.1. Ventana en Etabs v13 para definición de parámetros de aislador. . .	364
13.2. Asignación de los aisladores en modelamiento de Etabs v13.	365
13.3. Propiedades verticales de aislador HDR.	366
13.4. Propiedades horizontales de aislador HDR.	366
13.5. Propiedades verticales de aislador LRB.	367
13.6. Propiedades horizontales de aislador LRB.	368

13.7. Propiedades verticales de aislador HDR1.	368
13.8. Propiedades horizontales de aislador HDR1.	369
13.9. Propiedades verticales de aislador HDR2.	369
13.10 Propiedades horizontales de aislador HDR2.	370
13.11 Propiedades verticales de aislador HDR.	371
13.12 Propiedades horizontales de aislador HDR.	371
13.13 Propiedades verticales de aislador LRB.	372
13.14 Propiedades horizontales de aislador LRB.	372
13.15 Planilla de calculo del espectro de diseño sísmico para la estructura aislada.	393
13.16 Espectro de diseño resultante.	394
13.17 Comparación de espectros E-030 y del sistema aislado.	394
13.18 Análisis modal espectral de estructura aislada	395
13.19 Espectros factorados en comparación con el espectro original del sis- tema de aislamiento.	396
13.20 Desplazamiento y periodo fundamental para sistema aislado con HDR. 396	
13.21 Desplazamiento y periodo fundamental para sistema aislado con LRB. 397	
13.22 Desplazamiento y periodo fundamental para sistema aislado con HDR1 y HDR2.	398
13.23 Desplazamiento y periodo fundamental para sistema aislado con HDR y LRB.	399
13.24 Gráfico de desplazamiento relativo por cada piso aislado contra em- potrado.	400
13.25 Gráfico de desplazamiento relativo descontado por cada piso aislado contra empotrado.	401
13.26 Gráfico de cortante basal por cada piso aislado contra empotrado. . .	402
13.27 Registro Lima 1951 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.	403
13.28 Registro Lima 1966 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.	403
13.29 Registro Lima 1970 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.	404

13.30Registro Lima 1971 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.	404
13.31Registro Lima 1974 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.	405
13.32Registro Arequipa 2005 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.	405
13.33Registro Pisco 2007 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.	406
13.34Espectros de pseudoaceleración de registros:Lima 1951,1966,1970 y 1971.	407
13.35Espectros de pseudoaceleración de registros:Lima 1974,Arequipa 2005 y Pisco 2007.	408
13.36Siete espectros combinados con el método SRSS.	409
13.37Promedio de los siete espectros combinados con el espectro de diseño multiplicado por 1.17.	409
13.38Espectro promedio por encima de el espectro de diseño en los rangos de 1.00 a 2.50 seg.	410
13.39Lista de funciones tiempo historia definidos.	411
13.40Ventana de definición de función tiempo historia.	411
13.41Lista de casos de carga de tiempo historia definidos.	412
13.42Ventana de definición de caso de carga tiempo historia.	412
13.43Gráfico de desplazamiento relativo por cada piso aislado contra em- potrado.	422
13.44Gráfico de desplazamiento relativo descontado por cada piso aislado contra empotrado.	423
13.45Gráfico de cortante basal por cada piso aislado contra empotrado.	424
13.46Diagrama de momento flector en eje 1-1 para el caso HDR en ton-f*m.	425
13.47Diagrama de momento flector en eje 4-4 para el caso HDR en ton-f*m.	425
13.48Diagrama de momento flector en eje 7-7 para el caso HDR en ton-f*m	426
13.49Diagrama de momento flector en eje F-F para el caso HDR en ton-f*m.	427
13.50Diagrama de momento flector en eje II-H para el caso HDR en ton-f*m.	428
13.51Diagrama de fuerza cortante en eje 1-1 para el caso HDR en ton-f.	429
13.52Diagrama de fuerza cortante en eje 4-4 para el caso HDR en ton-f.	429

13.53	Diagrama de fuerza cortante en eje 7-7 para el caso HDR en ton-f. .	430
13.54	Diagrama de fuerza cortante en eje F-F para el caso HDR en ton-f. .	431
13.55	Diagrama de fuerza cortante en eje H-H para el caso HDR en ton-f. .	432
13.56	Diagrama de momento flector en eje 1-1 para el caso LRB en ton-f*m	433
13.57	Diagrama de momento flector en eje 4-4 para el caso LRB en ton-f*m.	433
13.58	Diagrama de momento flector en eje 7-7 para el caso LRB en ton-f*m	434
13.59	Diagrama de momento flector en eje F-F para el caso LRB en ton-f*m.	435
13.60	Diagrama de momento flector en eje H-H para el caso LRB en ton-f*m.	436
13.61	Diagrama de fuerza cortante en eje 1-1 para el caso LRB en ton-f. .	437
13.62	Diagrama de fuerza cortante en eje 4-4 para el caso LRB en ton-f. .	437
13.63	Diagrama de fuerza cortante en eje 7-7 para el caso LRB en ton-f. .	438
13.64	Diagrama de fuerza cortante en eje F-F para el caso LRB en ton-f. .	439
13.65	Diagrama de fuerza cortante en eje H-H para el caso LRB en ton-f. .	440
13.66	Diagrama de momento flector en eje 1-1 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.	441
13.67	Diagrama de momento flector en eje 4-4 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.	441
13.68	Diagrama de momento flector en eje 7-7 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.	442
13.69	Diagrama de momento flector en eje F-F para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.	443
13.70	Diagrama de momento flector en eje H-H para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.	444
13.71	Diagrama de fuerza cortante en eje 1-1 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f.	445
13.72	Diagrama de fuerza cortante en eje 4-4 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f.	445
13.73	Diagrama de fuerza cortante en eje 7-7 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f.	446
13.74	Diagrama de fuerza cortante en eje F-F para el caso HDR1+HDR2 en ton-f	447
13.75	Diagrama de fuerza cortante en eje H-H para el caso HDR1+HDR2 en ton-f.	448

13.76Diagrama de momento flector en eje 1-1 para el caso HDR+LRB en ton-f [*] m.	449
13.77Diagrama de momento flector en eje 4-4 para el caso HDR+LRB en ton-f [*] m.	449
13.78Diagrama de momento flector en eje 7-7 para el caso HDR+LRB en ton-f [*] m.	450
13.79Diagrama de momento flector en eje F-F para el caso HDR+LRB en ton-f [*] m.	451
13.80Diagrama de momento flector en eje H-H para el caso HDR+LRB en ton-f [*] m.	452
13.81Diagrama de fuerza cortante en eje 1-1 para el caso HDR+LRB en ton-f.	453
13.82Diagrama de fuerza cortante en eje 4-4 para el caso HDR+LRB en ton-f.	454
13.83Diagrama de fuerza cortante en eje 7-7 para el caso HDR+LRB en ton-f.	455
13.84Diagrama de fuerza cortante en eje F-F para el caso HDR+LRB en ton-f.	456
13.85Diagrama de fuerza cortante en eje H-H para el caso HDR+LRB en ton-f.	457
13.86Comparación de diagrama de momento flector en el eje 1-1 para el caso HDR y empotrado.	458
13.87Comparación de diagrama de momento flector en el eje 4-4 para el caso HDR y empotrado.	459
13.88Comparación de diagrama de momento flector en el eje F-F para el caso HDR y empotrado.	460
13.89Comparación de diagrama de fuerza cortante en el eje 1-1 para el caso HDR y empotrado.	461
13.90Comparación de diagrama de fuerza cortante en el eje 4-4 para el caso HDR y empotrado.	462
13.91Comparación de diagrama de fuerza cortante en el eje F-F para el caso HDR y empotrado.	465
13.92Pórtico representativo para ejes 1-1 y 7-7.	466

13.93Pórtico representativo para ejes 2-2,3-3,4-4,5-5 y 6-6. 466

13.94Secciones de acero reducidos para estructura aislada. 467

13.95Secciones para cada elemento por ejes. 467

13.96Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 1-1 para
el caso HDR. 468

13.97Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 2-2 para
el caso HDR. 468

13.98Diseño de accros longitudinales por momento flector en eje 3-3 para
el caso HDR. 469

13.99Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 4-4 para
el caso HDR. 469

13.100Diseño de aceros por momento flector en eje 5-5 para el caso HDR. . 470

13.10Diseño de aceros por momento flector en eje 6-6 para el caso HDR. . 470

13.102Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 7-7 para
el caso HDR. 471

13.103Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 8-8 para
el caso HDR. 471

13.104Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje D-D para
el caso HDR. 472

13.105Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje E-E para
el caso HDR. 473

13.106Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje F-F para
el caso HDR. 474

13.107.Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje H-H para
el caso HDR. 475

13.108Momentos admisibles de viguetas prefabricadas. 476

13.109Fuerzas cortantes de trabajo. 477

13.110Vigas continuas cargadas para diseño de viguetas. 478

13.111.Diagramas de momento flector de vigueta casos de carga C_{ut1} y C_{ut2} 479

13.112Diagrama de fuerza cortante de vigueta caso de carga C_{ut1} y C_{ut2} . 480

13.113Calculo del refuerzo de acero para momento $M_u=1902.07\text{ kg-f}\cdot\text{m}$. . 481

13.114Calculo del refuerzo de acero para momento $M_u=2222.63\text{ kg-f}\cdot\text{m}$. 482

13.115Detalle de ensanche alternado. 482

13.116.Elementos de la subestructura.	483
13.117.Fuerzas actuantes en el sistema de aislamiento.	483
13.118.Acero mínimo distribuido en sección de pedestal.	485
13.119.Extracción del diagrama de interacción de la ventana section desig.	485
13.120.Diagrama de interacción de pedestal con acero mínimo.	486
13.121.Clasificación de zapatas de cimentación.	486
13.122.Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z1 parte 1.	488
13.123.Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z1 parte 2.	489
13.124.Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z1 parte 3.	490
13.125.Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z2 parte 1.	492
13.126.Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z2 parte 2.	493
13.127.Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z2 parte 3.	494
14.1. Componentes para la comparación de precios entre la estructura ais- lada y convencional	495
14.2. Presupuesto a nivel de estructuras de la edificación convencional	499
14.3. Presupuesto a nivel de estructuras de la edificación aislada	500

Indice de tablas

3.1. Datos de los aisladores	82
3.2. Datos de las columnas del piso j	82
4.1. Zonificación sísmica	90
4.2. Factor de cercanía a fuente sísmica N_a	90
4.3. Factor de cercanía a fuente sísmica N_v	90
4.4. Factores C_{VD} de acuerdo al tipo de suelo y zona sísmica	91
4.5. Factores C_{VM} de acuerdo al tipo de suelo y $M_M Z N_V$	91
4.6. Coeficiente de máxima capacidad de respuesta M_M	91
4.7. Factor de reducción por amortiguamiento	93
4.8. Zonificación sísmica de reglamento chileno	101
4.9. Tipo de suelo de reglamento chileno	101
4.10. Factor de reducción por amortiguamiento	103
4.11. Factores F_a de acuerdo al tipo de suelo y la aceleración espectral . .	109
4.12. Factores F_v de acuerdo al tipo de suelo y la aceleración espectral . .	109
4.13. Factor de reducción por amortiguamiento	113
5.1. Factores de Zona	121
5.2. Parámetros del suelo	122
5.3. Categoría de la edificación	123
5.4. Sistema estructural	124
5.5. Peso adicional de sobrecarga	124
6.1. Niveles Sísmicos	130
6.2. Niveles Sísmicos	130
6.3. Factores de Zona para S_{D1}	132

6.4. Factores de Zona para S_{M1} 132

6.5. Modificación del factor R para aislamiento sísmico 134

11.1. Límites para desplazamiento lateral de entrepiso 233

12.1. Resultados para modelación bilineal de aislador HDR. 319

12.2. Resultados para modelación bilineal de aislador LRB. 320

12.3. Resultados para modelación bilineal de combinación de dos tipos de
aislador HDR. 323

12.4. Resultados para modelación bilineal de combinación de aisladores
HDR y LRB. 326

13.1. Parámetros para comprobación de diseño 375

13.2. Reducciones en porcentaje de fuerzas y desplazamientos para cada
tipo de análisis 376

13.3. Reducciones de fuerzas y desplazamientos para todos los casos. . . . 378

13.4. Verificación del corte basal de la superestructura en ton. 379

13.5. Verificación del corte basal de la subestructura en ton. 379

13.6. Verificación del desplazamiento total de diseño D_{TD} del sistema de
aislamiento en cm. 380

13.7. Verificación del desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema de
aislamiento en cm. 380

13.8. Factores de escalamiento. 382

13.9. Factores de escalamiento. 382

13.10 Verificación del corte basal de la superestructura en ton. 383

13.11 Verificación del corte basal de la subestructura en ton. 383

13.12 Verificación del desplazamiento total de diseño D_{TD} del sistema de
aislamiento en cm. 383

13.13 Verificación del desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema de
aislamiento en cm. 384

13.14 Verificación de derivas en superestructura caso HDR. 384

13.15 Verificación de derivas en superestructura caso LRB. 385

13.16 Verificación de derivas en superestructura caso HDR1+HDR2. . . . 385

13.17 Verificación de derivas en superestructura caso HDR+LRB. 385

13.18 Periodos de la estructura aislada en segundos. 386

13.19Desplazamiento de la interfaz de aislamiento en cm.	387
13.20Desplazamientos relativos por piso y caso de aislamiento en cm. . . .	387
13.21Desplazamientos relativos descontados por piso y caso de aislamiento en cm.	388
13.22Porcentajes de reducción de desplazamientos en %.	389
13.23Corte basal de estructura empotrada y aislada en ton.	389
13.24Porcentajes de reducción de corte basal en %.	390
13.25Reducciones en porcentaje de fuerzas y desplazamientos para cada tipo de análisis.	413
13.26Reducciones de fuerzas y desplazamientos para todos los casos. . . .	413
13.27Verificación del corte basal de la superestructura en ton.	414
13.28Verificación del corte basal de la subestructura en ton.	414
13.29Verificación del desplazamiento total de diseño D_{TD} del sistema de aislamiento en cm.	414
13.30Verificación del desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema de aislamiento en cm	415
13.31Verificación de derivas en superestructura caso HDR.	415
13.32Verificación de derivas en superestructura caso LRB.	416
13.33Verificación de derivas en superestructura caso HDR1+HDR2	416
13.34Verificación de derivas en superestructura caso HDR+LRB	416
13.35Desplazamiento de la interfaz de aislamiento en cm.	417
13.36Desplazamientos relativos por piso y caso de aislamiento en cm. . . .	417
13.37Desplazamientos relativos descontados por piso y caso de aislamiento en cm.	418
13.38Porcentajes de reducción de desplazamientos en %.	418
13.39Corte basal de estructura empotrada y aislada en ton.	419
13.40Porcentajes de reducción de corte basal en %.	420
14.1. Periodos de la estructura aislada en segundos.	496
14.2. Comparación de costos entre la estructura aislada y convencional. . .	498

Parte I

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

Los sismos son fenómenos naturales que consisten en sacudidas o movimientos bruscos del terreno generalmente producidos por disturbios tectónicos o volcánicos. Su origen se encuentra en la liberación de energía que se produce cuando los materiales del interior de la tierra se desplazan, buscando el equilibrio, desde situaciones inestables que son consecuencia de las actividades volcánica y tectónica, que se producen principalmente en los bordes de placa.

Los sismos producen daños al interactuar con las construcciones vulnerables hechas por el hombre.

La filosofía básica que persiguen los códigos de la construcción es que frente a la presencia de un sismo que se aplica en la base de la edificación y que induce deformaciones, las estructuras en su conjunto y cada una de sus partes deben ser capaces de soportar dichos movimientos sin desplomarse.

La prioridad es salvaguardar las vidas humanas. Esta capacidad de deformación produce daños en las construcciones, sin embargo, estos daños son aceptables siempre que no conduzcan a desplomes totales o parciales.

En caso de terremotos severos se aceptan daños porque mientras el peso propio actúa permanentemente durante la vida útil de la construcción, el movimiento sísmico sólo lo hace excepcionalmente, siendo posible incluso, que una construcción nunca lo soporte durante su vida útil. De esta manera, no permitir deformaciones permanentes significaría tener que hacer construcciones muchísimo más resistentes que las actuales, (5 a 6 veces más) que serían costosas transformándose en tremendas

moles, siendo totalmente innecesarios.

Debido al crecimiento de centros altamente poblados y al incremento de construcciones vulnerables, los movimientos sísmicos devienen en tremendas catástrofes, con un saldo de pérdidas humanas y económicas.

Si bien los sismos no se pueden predecir si pueden prevenirse sus efectos, siendo necesario que las construcciones no sean vulnerables, es decir, que se proyecten y construyan de acuerdo con el código de diseño de nuestro país

El diseño convencional plantea para la absorción de fuerzas sísmicas, diferentes alternativas dentro de las cuales se consideran las más importantes: rigidización, reforzamiento de elementos, complementos de la cimentación, todas ellas implican aumento de las dimensiones de los elementos estructurales.

El diseño sismorresistente convencional se fundamenta en la capacidad de las estructuras para disipar la energía que le entrega el sismo por medio de deformaciones inelásticas, las que implican un daño controlado de la estructura.

En las últimas dos décadas ha incursionado entre la comunidad profesional el uso de sistemas de protección sísmica en estructuras. Entre ellos, los sistemas de aislación sísmica y de disipadores de energía han sido los más utilizados.

Para disipar energía se introducen dispositivos especiales en una estructura, con el fin de reducir las deformaciones y esfuerzos sobre ella. Estos dispositivos reducen la demanda de deformación y esfuerzos producidos por el sismo mediante el aumento del amortiguamiento estructural y la disipación de energía fuera de la estructura base. Como resultado los esfuerzos inducidos por el sismo en la estructura pueden ser hasta un 90 % menores que los correspondientes a la estructura sin disipadores, reduciendo sustancialmente las incursiones inelásticas (daño) de la estructura.

La aislación sísmica de base se sustenta en la idea de aislar una estructura del suelo mediante elementos estructurales que reducen el efecto de los sismos sobre la estructura. Estos elementos estructurales se denominan AISLADORES SÍSMICOS y son dispositivos que absorben mediante deformaciones elevadas la energía que un terremoto transmite a una estructura. Al utilizar estos elementos, la estructura sufre un cambio en la forma como se mueve durante un sismo y una reducción importante de las fuerzas que actúan sobre ella durante un sismo. Existen dos tipos básicos de aislamiento: elastoméricos, que es el tema de la presente tesis y deslizantes.

Por ello es tema de la presente tesis, asimilar los hechos expuestos e introdu-

cir conceptos de diseño, sistematización y ejecución de los aisladores de base en edificaciones, teniendo como aplicación numérica el rediseño con aisladores de base del pabellón de laboratorios de la facultad de Ciencias Agrarias de la escuela de Agronomía, evaluando su aplicación desde los detalles de respuesta sísmica, planos estructurales, habilitación de aislamiento, presupuesto comparativo y finalmente demostrar el mejoramiento técnico (Impacto en la vida útil de las estructuras y calidad). Asimismo implementar un software de cálculo de sistemas de aisladores de base, que pueda ofrecer al investigador los diferentes resultados en estos temas.

1.2. Planteamiento del problema

El Perú es un país afectado permanentemente por la acción de los sismos, por encontrarse en una de las zonas de contacto de placas tectónicas más activas del mundo. Existe la necesidad de tomar precauciones técnicas para lograr un mejor comportamiento de las obras de ingeniería en el país, ante la acción de sismos recurrentes.

Existen obras, vitales para el Perú, que deben sobrevivir inclusive después de la acción de sismos extremos, pues su inhabilitación o su colapso provocaría daños a la población que logró sobrevivir a la acción inicial del sismo, que pueden ser superiores a los daños causados por el propio sismo; tal es el caso de hospitales, sistemas de producción y distribución de agua potable, centros de emergencia ciudadana, puentes de acceso estratégico, etc.

La seguridad de la humanidad se ve descubierta ante eventos catastróficos como los sismos que afectan notablemente a las estructuras y trae consigo muertes humanas en gran escala.

Actualmente los planteamientos de la configuración estructural más adecuada para resistir las fuerzas sísmicas se basan en dos: estructuras flexibles (resistencia y ductilidad de marco rígidos), o las rígidas. (resistencia de muros) las cuales conllevan al cuidado en la ductibilidad de los elementos que disipan la energía del sismo con sus desplazamientos. Y en algunos casos los elementos estructurales llegan al rango plástico produciéndose fisuras significativas.

La durabilidad y calidad de las estructura de la edificación se ve afectada con los sismos recurrentes en la vida útil de la edificación.

La falta de un reglamento específico para el diseño de edificaciones con aisladores de base en el país conlleva al aun desconocimiento de este tipo de sistemas.

1.3. Justificación

TÉCNICA:

Nuestro país se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, la cual provoca que eventualmente se produzcan sismos extremos. Frente a estos los elementos estructurales rebasan los rangos elásticos y funcionan dentro de la zona plástica, produciéndose la falla de los elementos y, por consiguiente de la estructura.

A través de la utilización de sistemas de aislación sísmica se consigue una mejora considerable en el comportamiento sísmico de las estructuras. Esto se traduce en una reducción en los daños a elementos estructurales, no estructurales y en los contenidos de los edificios.

ECONÓMICA:

Frente a eventos sísmicos extremos es necesario construir estructuras económicas con altos niveles de seguridad tanto en la estructura como en sus contenidos.

La utilización de aisladores de base en edificaciones implica la disminución de fallas y fisuramiento de elementos estructurales y por ende menor costo en mantenimiento y reparación.

La incorporación del sistema de aislamiento sísmico en estructuras origina la disminución de las secciones estructurales entre el 5 y el 10 % y hasta un 18 % en la cantidad de refuerzo, representando una disminución en el costo netamente de la edificación de alrededor del 5 al 20 %. Demostrándose así el ahorro que podemos tener al momento de diseñar y construir edificaciones con aislamiento de base.

Sin embargo la mayor ventaja económica del uso de los aisladores no se mide en el momento de la construcción, sino después de un sismo.

1.4. Objetivos

1. El entendimiento claro de las ventajas que conlleva el uso de los aisladores sísmicos frente a los eventos sísmicos, como también sus desventajas.
2. Dar a conocer las características de la mejora del desempeño sísmico de una

estructura debido a la posibilidad de un aumento artificial del periodo de vibración y la capacidad de dispersión de energía del sistema.

3. Establecer los parámetros de aplicación de los aisladores sísmicos a edificaciones.
4. Desarrollar el diseño con la metodología propuesta, mediante la elaboración de un programa hecho en el lenguaje de programación Matlab para determinar las propiedades geométricas de los aisladores.
5. Alcanzar al usuario encargado del diseño de edificaciones con aisladores de base, el prototipo informático, como una herramienta versátil, y útil para un manejo práctico y obtención de resultados.
6. Desarrollar la investigación enfocada a la adaptación del Reglamento Nacional de Edificaciones y determinar hasta donde es posible enlazar las exigencias normativas en el diseño de las estructuras aisladas.
7. Tratar de que este tipo de sistemas de disipación de energía (aislación sísmica) se generalicen en el país, para poderlo aplicar en las edificaciones, ya que se ha hecho popular en otros países desarrollados del mundo, por su gran efectividad.
8. Realizar la comparación a nivel económico entre la infraestructura con y sin aisladores de base, así como también verificar la disminución de gastos en reparación y mantenimiento de la edificación en caso de sismos severos.

1.5. Organización de la Tesis

La presente tesis desarrolla aspectos importantes en el estudio de sistemas de aislamiento sísmico elastoméricos, así mismo muestra imágenes, gráficos y tablas que nos ayudaran a entender lo importante del estudio de estos sistemas.

Se presenta en el *Capítulo II* los Conceptos Generales, describiendo la situación sísmica de nuestro departamento, los sistemas de protección sísmica desarrollados hasta la actualidad, la historia del desarrollo de los sistemas de aislamiento, el concepto específico de un aislamiento sísmico, los tipos de aisladores desarrollados hasta la actualidad y su comportamiento frente a un evento sísmico.

En el *capítulo III*, se presenta la teoría dinámica de estructuras con aisladores sísmicos. Detallando de manera matricial el comportamiento sísmico de la superestructura aislada para los casos plano y espacial.

En el *capítulo IV*, se presenta una descripción detallada de tres de las normas que rigen el diseño de los sistemas de aislamiento: UBC-1997, NCH2745-2003 y el ASCE/SEI 7-10, que es usado actualmente para la zona peruana.

En el *capítulo V*, se presenta un resumen del reglamento nacional de edificaciones E-030, con el fin de mostrar los parámetros mas importantes de diseño y posteriormente compararlos con el reglamento ASCE/SEI 7-10.

En el *capítulo VI*, se realiza una identificación y descripción de los parámetros comunes entre el reglamento ASCE/SEI 7-10 y el E-030 para luego aplicarlos en el diseño de sistemas de aislamiento.

En el *capítulo VII*, se presenta una metodología detallada del diseño de los aisladores sísmicos para cuatro casos: Solo HDR, Solo LRB, la combinación de dos tipos de aisladores HDR: HDR1+HDR2, la combinación: HDR+LRB.

En el *capítulo VIII*, se presenta un breve concepto de la modelación bilineal de los aisladores sísmicos, muy importante para describir el comportamiento histerético del aislador.

En el *capítulo VIII*, se presenta al software informático AISLAND V 1.0, detallando la forma de manejo, mostrando imágenes de cada paso del diseño.

En el *capítulo IX*, se presenta las características generales de la estructura convencional existente y la estructura proyectada a aislar.

En el *capítulo X*, se presenta una verificación estructural de la estructura existente con los lineamientos del reglamento E-030 vigente. Además se presenta el análisis y diseño de la estructura propuesta que cumpla con los requisitos sísmicos.

En el *capítulo XI*, se presenta de manera detallada, el proceso de diseño de los aisladores sísmicos para los cuatro casos establecidos: HDR, LRB, HDR1+HDR2 y HDR+LRB. Además se muestra el uso del programa AISLAND V 1.0 para dichos casos.

En el *capítulo XII*, se presenta el proceso de diseño estructural según los requerimientos del ASCE/SEI 7-10 de los elementos tanto de la superestructura como de la infraestructura. Procesándolo con los diferentes tipos de análisis sísmico y verificando los diferentes parámetros de control.

En el *capítulo XIII*, se presenta la comparación de los costos entre la estructura convencional y la estructura aislada. Además se identifica las ventajas y desventajas del uso de estos sistemas.

En los capítulos *capítulo XIV y XV*, se presentan las conclusiones y recomendaciones finales de la presente tesis.

Parte II

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Capítulo 2

Conceptos Generales

2.1. Realidad Sísmica del Perú y Ayacucho

2.1.1. Realidad sísmica del Perú

El Perú se encuentra sísmicamente en la zona llamada el Cinturón de Fuego del Pacífico, la cual es la región donde se expulsa la mayor cantidad de energía liberada por la tierra en forma de terremotos como también de erupciones volcánicas. Esta zona abarca los siguientes países: Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, El Salvador, México, EEUU, Alaska, Japón, Taiwán y Australia. (Ver fig.2.1)

El Perú se encuentra en el límite de dos placas tectónicas: la placa de Nazca y la Sudamericana. Las cuales interactúan tectónicamente por un proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa sudamericana. Este proceso geodinámico ha dado origen a la deformación del borde oeste de sudamericana y cuya evidencia principal es la cordillera de los Andes. La interacción continua de las placas origina sismos desde bajas hasta altas intensidades.

2.1.2. Realidad sísmica de Ayacucho

Los sismos que ocurren en la ciudad de Ayacucho son debido a las siguientes fuentes:

- A los mecanismos de subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana
- Por origen Tectónico

Verificando la historia sísmica del área de Ayacucho, es necesario subdividirla en dos periodos con características claramente distinguibles tanto en Magnitud como

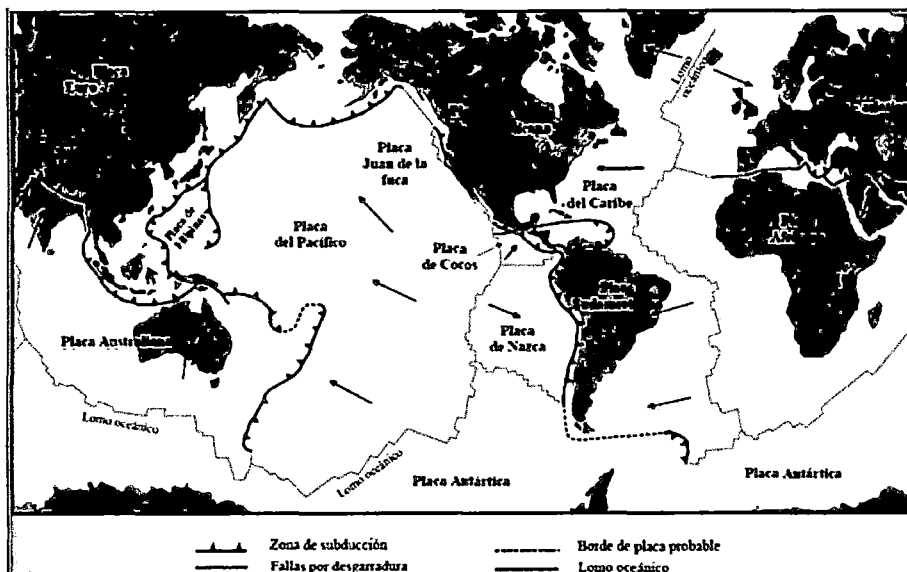


Figura 2.1. Mapa del cinturón de fuego del Pacífico y de las placas tectónicas a nivel mundial

en Intensidad. Estos periodos están dados el primero entre el año 1586 y 1980 y el segundo a partir del año 1980 hasta la actualidad. Muchos de los sismos ocurridos en el primer Periodo se han generado lejos del área de estudio, pero por su naturaleza de ser destructores, con magnitudes hasta de 8.4 (Ms), sus ondas han llegado a la ciudad de Ayacucho, alcanzando en esta una Intensidad de IV MM. A continuación se detallan los grandes eventos sísmicos que se han producido en el territorio peruano y que han afectado al área de estudio entre 1586 a 1980 [22]:

- 28-01-1687 : Terremoto de Magnitud 8.2, que sacudió la villa de Huancavelica y gran parte de la comarca. Las provincias de Huanta y Angaraes quedaron asoladas.
- 17-06-1719: Sacudimiento de tierra que en Huamanga tuvo el carácter de destructor.
- 08-02-1916: Sismo de foco cordillerano que fue sentido en un área de 120,000 Km² y afectó varios pueblos de la provincia de Fajardo, Huamanga, Huanta, del Departamento de Ayacucho y Angaraes en Huancavelica. El pueblo de Julcamarca sufrió averías en sus construcciones.
- 24-08-1942: Terremoto en la región limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, su intensidad máxima fue de IX MM. Sentido con una intensidad

III a IV MM, en un área elíptica de 408,000 Km² en la que se encuentra al Norte Huaraz, al NorEste de Cerro de Pasco y Oxapampa, Este de Cuzco y al Sur Moquegua; en Ayacucho alcanzó la intensidad de IV MM.

- 01-11-1947: Terremoto en la Zona Central del Perú, el movimiento tuvo un área de percepción aproximada de 1300 Km² abarcando casi todo el territorio peruano. En la zona de Ayacucho alcanzó la intensidad de V MM.
- 24-12-1959: Sismo destructor en el departamento de Ayacucho, hubo destrucción de viviendas en los poblados de Mayobamba, Pomabamba Huahuapuquio y otros caseríos ubicados en las escarpadas laderas del río Pampas. Sismo sentido en la ciudad de Ayacucho y pueblos vecinos.

Hasta Mayo de 1980 la zona entre Huancayo y Cuzco tuvo una baja actividad sísmica, que fue alterada primero por el sismo del 3 de Junio de 1980, cuyo epicentro fue ubicado cerca de las localidades de Mollepata y Limatambo, en el departamento de Cuzco. El sismo tuvo una magnitud de 4.9 Mb.

El 16 de Agosto de 1980, ocurrió el primer sismo sensible en el área de estudio que posteriormente fue afectada por una serie continuada y persistente de sismos cuyo detalle es el siguiente:

A partir del 16 de Agosto de 1980, fecha cuando se produce el sismo de magnitud 5.1 (Mb), las áreas de los distritos de San José de Ticllas, San Pedro de Cachi, Vinchos y Santo Tomás de Pata, han sufrido una continua y alta actividad sísmica; estos fenómenos son el producto de la fuerte deformación tectónica existente, tal como lo demuestran las estructuras geológicas presentes, como son presencia de fallas y plegamientos de varios kilómetros de longitud que principalmente tienen una alineación SE-NW. La mayoría de los sismos que se produjeron en el área son superficiales (Profundidad menor a 30 Km). La ciudad de Huamanga en el departamento de Ayacucho se encuentra según la clasificación del Reglamento Nacional de Edificaciones E-030 en la Zona 2 con una aceleración máxima del terreno de 0.3 g correspondiente a una probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años. La ciudad de Huamanga se encuentra en una zona de sismicidad media con probabilidad de ocurrencia de sismos de leves a moderados (VI a VII en la Escala de Mercalli Modificada).

FECHA HORA	EPICENTRO	PROFUNDIDAD	MAGNIT. LOCAL	LUGAR	PROV. DISTR.	INTENSIDAD
16/08/1980 14h 22' 26"	13.0°S 73.7°W	33.0 Km	5	A 70 km. W de la ciudad de Ayacucho	Huamanga Ayacucho	V
10/11/1980 17h 21' 6"	13.0°S 73.8°W	33.0 Km	5.3	A 50 km. E de la ciudad de Ayacucho	Huamanga Ayacucho	V-VII
19/11/1980 18h 33' 58"	13.0°S 73.8°W	33.0 Km	5.3	A 30 km. NE de la ciudad de Ayacucho	Huamanga Ayacucho	IV
12/11/1980 01h 58' 5"	13.0°S 74.0°W	33.0 Km	5.7	A 30 km. NE de la ciudad de Ayacucho	Huamanga Ayacucho	VI-VII
12/11/1980 6h 15' 31"	13.0°S 74.0°W	33.0 Km	5.7	Muy cerca a la ciudad de Ayacucho	Huamanga Ayacucho	VI-VII
12/11/1980 11h 09' 28"	13.1°S 74.0°W	33.0 Km	4.5	A 50 km. De Ayacucho En chilcas	Huamanga Ayacucho	III
12/11/1980 16h 04' 40"	12.9°S 74.2°W	33.0 Km	4.6	A 40 km. NE de Orccobuasi	Huamanga Ayacucho	III
12/11/1980 20h 51' 24"	12.9°S 74.1°W	33.0 Km	4.5	A 50 km. NE de Pampahuasi	Huamanga Ayacucho	III
12/11/1980 20h 54' 20"	13.0°S 74.0°W	33.0 Km	4.8	A 50 km. NE de San Miguel	La Mar Ayacucho	III
13/11/1980 01h 40' 27"	13.1°S 73.0°W	33.0 Km	4.6	A 50 km. E de Rumihuasi	La Mar Ayacucho	III
13/11/1980 16h 56' 27"	13.3°S 74.8°W	33.0 Km	4.6	A 50 km. SE de Churiac	Huamanga Ayacucho	III
14/11/1980 01h 32' 27"	13.0°S 74.2°W	33.0 Km	4.0	A 40 km. N de huamanguilla	La mar Ayacucho	III
16/11/1980 14h 56' 20"	13.0°S 74.0°W	33.0 Km	4.0	A 40 km. N de Ayacucho	Huamanga Ayacucho	II - III
11/12/1980 16h 25' 33"	13.2°S 74.3°W	33.0 Km	5.4	A 30 km. SE de Vinchos	Huamanga Ayacucho	IV
17/12/1980 03h 45' 21"	13.2°S 74.6°W	35.0 Km	5.0	A 40 km. N de Chalhupampa	Huamanga Ayacucho	IV
24/01/1981 04h 01' 55"	13.0°S 73.9°W	25.0 Km	4.8	A 30 km. NE de Tambo	La Mar Ayacucho	IV
05/02/1981 08h 01' 55"	12.9°S 74.1°W	33.0 Km	4.0	A 30 km. NE de Tambo	La Mar Ayacucho	IV
16/02/1981	13.5°S 74.1°W	25.0 Km	4.8	A 15 km. NE de Tambo	Huamanga Ayacucho	IV
24/03/1981 09h 09' 38"	12.9°S 74.3°W	34.0 Km	4.0	A 25 km. De Huanta	Huanta Ayacucho	IV
14/04/1981 10h 55' 29"	13.2°S 74.7°W	34.0 Km	4.6	A 50 km. SW de Chirlac	Huamanga Ayacucho	V-VI
17/04/1981 19h 32' 33"	13.3°S 74.4°W	9.0 Km	5.4	A 30 km. De Mitapasamañan	Huamanga Ayacucho	V-VI
18/04/1981 09h 29' 46"	13.2°S 74.4°W	21.0 Km	4.6	A 25km. SW de Socos	Huamanga Ayacucho	
21/04/1981	13.2°S 74.5°W	10.0 Km	4.0	A 50 km. De Mitapasamañan	Huamanga Ayacucho	

Figura 2.2. Principales eventos sísmicos relacionados con el área en estudio

2.2. Filosofía de Diseño Sísmico Convencional y Tendencias Actuales

Según el reglamento de diseño sismo resistente E-030 del RNF establece en su Artículo 03 lo siguiente:

Artículo 3. Filosofía y Principios del diseño sismorresistente

La filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- a. *Evitar pérdidas de vidas*
- b. *Asegurar la continuidad de los servicios básicos*
- c. *Minimizar los daños a la propiedad.*

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en esta norma los siguientes principios para el diseño:

- a. *La estructura no debería colapsar, ni causar daños graves a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio.*
- b. *La estructura debería soportar movimientos sísmicos moderados, que puedan ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables.*

El código ACI en su última versión ACI-318 2014 de diseño de elementos de Concreto Armado utiliza el método de diseño de la Resistencia Última la cual orienta el diseño por medio de los siguientes principios: Resistencia y Ductilidad. La resistencia está dada por medio de los factores de amplificación de carga de servicio y reducción de la resistencia teórica de los elementos estructurales. Y la Ductilidad está dada por los conceptos de evitar una falla frágil y orientarla a una falla dúctil. Asegurando de esta manera el no colapso del elemento. Durante la vida útil de una estructura, esta se ve sometida a la acción de diferentes estados de carga como son las cargas propias de la edificación o carga muerta y las cargas producidas por el uso cotidiano de los usuarios o carga viva. Además de esta se encuentran las cargas producidas por los fenómenos sísmicos a los cuales se les atribuye generalmente el mayor porcentaje de carga. Para sismos de mediana a baja intensidad las estructuras disipan la energía

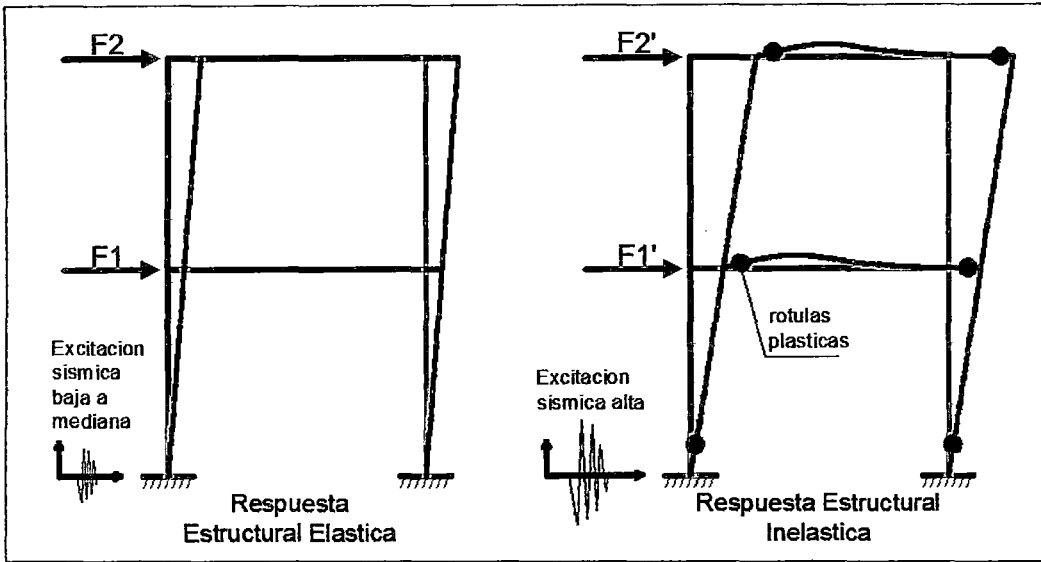


Figura 2.3. Comportamiento sísmico de estructura convencional frente a una excitación sísmica baja, mediana y alta.

de ingreso por medio del comportamiento elástico, teniendo todos los esfuerzos en sus elementos por debajo del nivel de fluencia y en caso de sismos de alta intensidad la estructura disipa la energía por medio de rotulas plásticas entrando así al rango inelástico. Estas rótulas plásticas están espacialmente detalladas en las vigas y en las columnas, las cuales también forman parte del sistema de carga por gravedad. Las rótulas plásticas son regiones de daño concentrado del pórtico de gravedad, el cual frecuentemente es irreparable.(Ver fig.2.3)

Asimismo el diseño para una estructura convencional rige sus principios de cálculo en el comportamiento elástico de la estructura (requiere un bajo a regular financiamiento) a diferencia de las estructuras esenciales a las cuales se recomienda el cálculo en el comportamiento inelástico (requiere un elevado financiamiento). Actualmente se han desarrollado procedimientos de diseño alternativo con la incorporación de los SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA cuya función primordial es la de absorber parte de la energía de ingreso proveniente de sismo, para de esta manera reducir la demanda de disipación de energía en los miembros primarios estructurales y minimizar el posible daño estructural. Las investigaciones en estos sistemas de protección ya vienen haciéndose desde hace 25 años.(Ver fig.2.4)

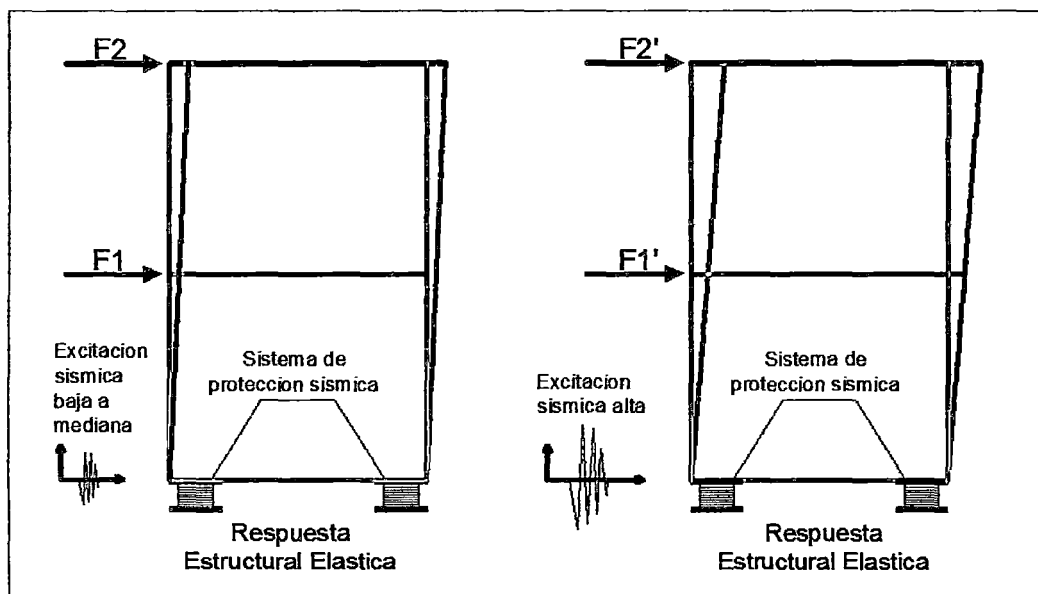


Figura 2.4. Comportamiento sísmico de estructura con sistemas de protección frente a una excitación sísmica baja, mediana y alta.

2.3. Disipación de Energía

La física ha estudiado desde hace ya mas de dos siglos los efectos de la disipación de energía sobre los fenómenos dinámicos. Sin embargo su aplicación practica se dio varios años después en los diferentes sectores de la ingeniería.

Una de las industrias donde se dio mayor auge fue en la industria automotriz. Sin embargo a nivel de la Ingeniería Civil el desarrollo se dio desde hace 20 años atrás de manera sustancial. El concepto de balance de energía en estructuras se describe de la siguiente manera [18]:

La energía total introducida por el sismo a la estructura *Energía de ingreso* E_i , se transforma en la estructura en dos tipos de energía: la *Energía almacenada* E_a y la *Energía disipada* E_d .

$$E_i = E_a + E_d \quad (2.1)$$

La *Energía almacenada*, representa la energía que la estructura con sus propiedades inherentes es capaz de absorber y la *Energía disipada* representa la energía absorbida por medios externos o propios de la estructura.

La *Energía almacenada*, se presenta en dos tipos de energía distintas: la *Energía cinética* E_c y la *Energía de deformación elástica recuperable* E_p .

$$E_a = E_c + E_p \quad (2.2)$$

Y la *Energía disipada* se presenta en dos tipos de energía distintas: la *Energía disipada por amortiguamiento viscoso* E_v y la *Energía disipada por amortiguamiento histerético* E_h .

$$E_d = E_v + E_h \quad (2.3)$$

La *Energía disipada por amortiguamiento viscoso* E_v es la energía disipada por mecanismos que dependen de la velocidad como por ejemplo: la presencia del aire genera un amortiguamiento aunque mínimo de la estructura.

Y la *Energía disipada por amortiguamiento histerético* E_h es la energía disipada por mecanismos que dependen de las deformaciones y desplazamientos de la estructura.

Teniendo las ecuaciones: (2.2) (2.3), Se procede a reemplazar en la ecuación (2.1):

$$E_i = E_c + E_p + E_v + E_h \quad (2.4)$$

El termino de la izquierda E_i representa la demanda originada por el sismo, mientras el termino del lado derecho representa las capacidades de la estructura para absorber la energía de la demanda.

En la metodología de diseño sismorresistente convencional se sigue el siguiente proceso:

- a. Se evalúa la energía de ingreso E_i del sismo.
- b. Si la energía de ingreso E_i es menor a la energía almacenada E_a , se predetermina un comportamiento elástico de la estructura.
- c. Si la energía de ingreso E_i es mayor a la energía almacenada E_a , se predetermina un comportamiento inelástico de la estructura. Utilizando como fuente de disipación, la energía por amortiguamiento histerético E_h de los elementos (columnas, vigas). Y es de esperarse la presencia de rotulas plásticas en la estructura.

En la metodología del diseño sismorresistente con disipadores de energía se sigue el siguiente proceso:

- a. *Se evalúa la energía de ingreso E_i del sismo*
- b. *Si la energía de ingreso E_i es menor a la energía almacenada E_a , se predetermina un comportamiento elástico de la estructura*
- c. *Si la energía de ingreso E_i es mayor a la energía almacenada E_a , se predetermina un comportamiento elástico de la estructura. Utilizando como fuente de disipación, dispositivos para la energía disipada por amortiguamiento viscoso E_v y/o la energía disipada por amortiguamiento histerético E_h .*

Los aisladores sísmicos se consideran dentro de los disipadores de energía por amortiguamiento histerético, pues dependen de la deformación o desplazamiento.

2.4. Sistemas de Protección Sísmica

2.4.1. Sistemas de Protección Sísmica

El diseño sismo resistente por el reglamento E-030 orienta sus principios en que la capacidad de las estructuras para disipar la energía entregada por el sismo se da por medio de las deformaciones elásticas e inelásticas las que ocasionan un daño controlado de la estructura. Afectando no solo a los elementos estructurales, también a los no estructurales. Con el objetivo de tener un mejor comportamiento sísmico de la estructura y alcanzar objetivos de desempeño superiores a las de la normativa, tales como protección de la inversión y continuidad de operación. Se da la alternativa de la implementación de **SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA**. Los sistemas de protección sísmica son dispositivos que colaboran a la estructura a resistir los efectos sísmicos. Si bien los sistemas de protección sísmica no son esenciales para que las estructuras resistan movimientos sísmicos, proveen una mejora considerable al comportamiento dinámico de las estructuras. Estos sistemas en la actualidad constan desde diseños relativamente simples hasta sistemas totalmente automatizados.

2.4.2. Tipos de Sistemas de Protección Sísmica

Los sistemas de protección sísmica se clasifican en tres tipos [13]:

1. Sistemas Activos

- 2. Sistemas Híbridos
- 3. Sistemas Semi-Activos
- 4. Sistemas Pasivos

1. **Sistemas Activos**

Estos sistemas incluyen sensores de movimiento, sistemas de control y procesamiento de datos, y actuadores dinámicos lo que hace que estos sistemas sean los más complejos. Los sistemas activos actúan contrarrestando directamente las fuerzas producidas por el sismo con la aplicación de fuerzas sobre la estructura por medio de los actuadores dinámicos. Estos sistemas se encuentran activos, monitoreando la estructura en tiempo real. Una vez detectado el movimiento del suelo, aplica las fuerzas necesarias para contrarrestar en tiempo real la energía introducida por el sismo. Por ello estos sistemas son considerados la mejor alternativa de protección sísmica de estructuras. Aunque algunas de sus desventajas es su alto costo tanto en la instalación como en el mantenimiento y el requerimiento constante de una fuente de energía. Su mayor aplicación se da en Japón y EE.UU. El Perú actualmente no cuenta con este tipo de sistemas de protección. Ejemplos de estos sistemas son: el AMD (Amortiguador de masa activa), tendones activos. En la fig.2.5 se muestra el diagrama de flujo del proceso de funcionamiento de estos sistemas.

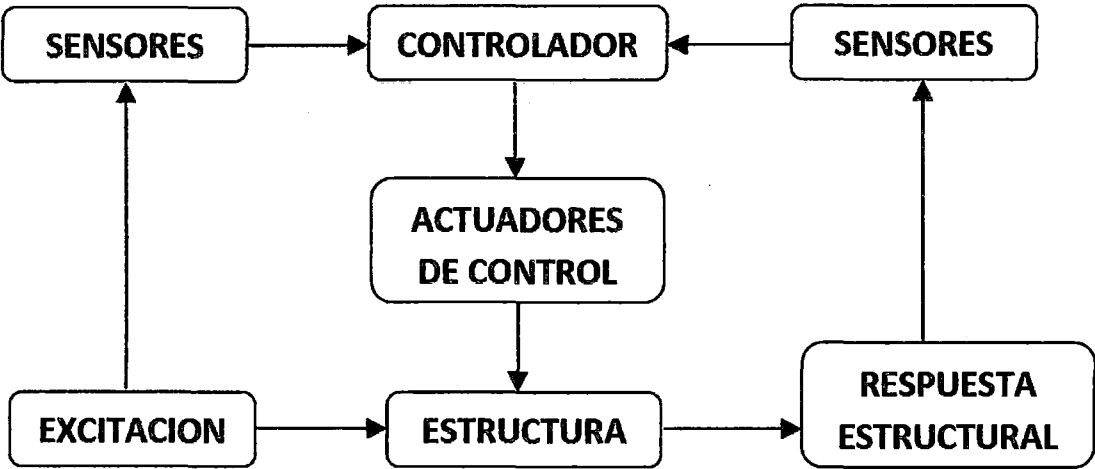


Figura 2.5. Esquema de funcionamiento de un sistema activo.

2. **Sistemas Híbridos**

Los sistemas híbridos son la consecuencia de la combinación de los sistemas activos y los sistemas pasivos. Estos sistemas conllevan a algunas mejoras con respecto al sistema activo como es en caso de falla del componente activo el sistema pasivo sigue en funcionamiento además las necesidades energéticas son menores. Ejemplos de estos sistemas son: el AMD (Amortiguador de masa híbrida) y el aislamiento de base con control activo de desplazamiento. En la fig.2.6 se muestra el diagrama de flujo del proceso de funcionamiento de estos sistemas.

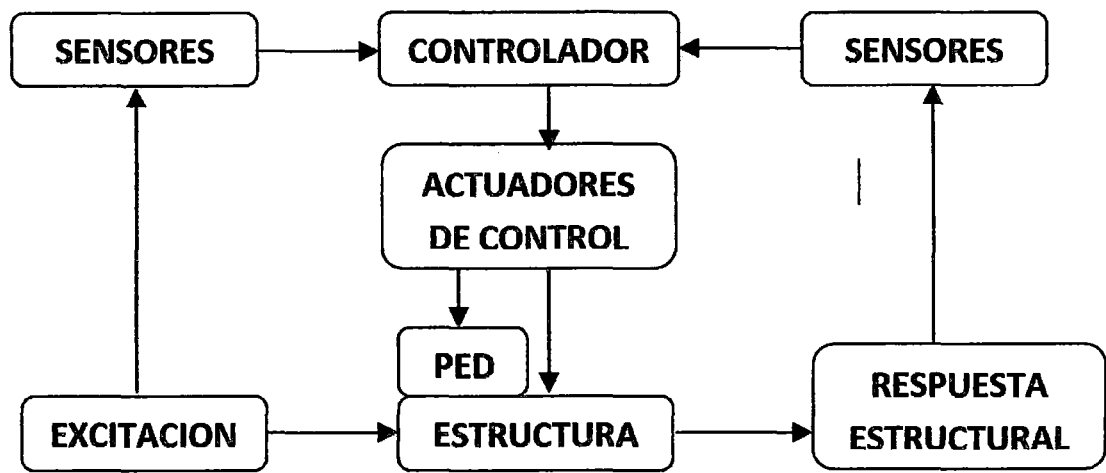


Figura 2.6. Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido. Siendo PED el dispositivo pasivo disipador de energía, que actúa junto a la estructura.

- 3. **Sistemas Semi-Activos** Estos sistemas cuentan con un sistema de control y procesamiento de datos, y a diferencia del Sistema Activo no aplican las fuerzas de control directamente sobre la estructura si no actúan modificando, en tiempo real, las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía. El Perú actualmente no cuenta con este tipo de sistemas de protección. Ejemplo: dispositivos de amortiguamiento hidráulico variable (VHD), dispositivo de fluido magnetereológico. En la fig.2.7 se muestra el diagrama de flujo del proceso de funcionamiento de estos sistemas.
- 4. **Sistemas Pasivos** Son los sistemas de protección sísmica más usados en la actualidad. Están dentro de este tipo de sistemas, los AISLADORES SÍSMICOS y los disipadores de energía. La función de los sistemas pasivos es aminorar la

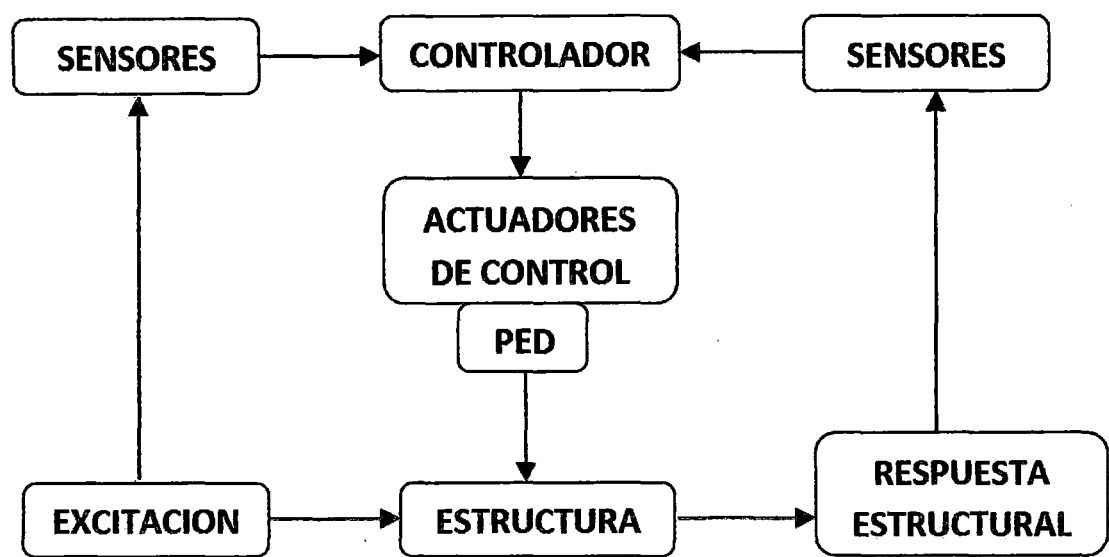


Figura 2.7. Esquema de funcionamiento de un sistema Semi-Activo. Siendo PED el dispositivo pasivo disipador de energía que actúa junto a los actuadores de control

respuesta dinámica de la estructura por medio de dispositivos mecánicos especialmente diseñados para disipar la energía por medio de calor. Las principales ventajas de estos sistemas es que no dependen de fuentes de energía adicional, son mecánicamente simples y su costo es competitivo. En el Perú ya se cuenta con algunas edificaciones con aislamiento de base y disipadores de energía como son los disipadores viscosos. Todos ellos construidos en la ciudad de Lima. En la fig.2.8 se muestra el diagrama de flujo del proceso de funcionamiento de estos sistemas.

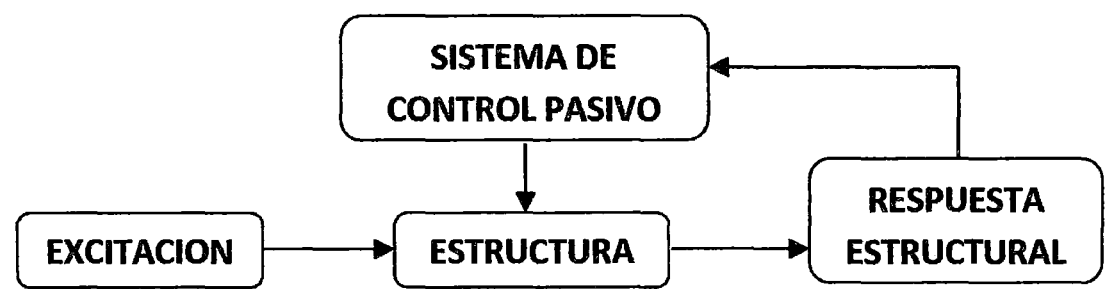


Figura 2.8. Esquema de funcionamiento de un sistema pasivo.

2.5. Aislamiento Sísmico

El sistema pasivo que ha tomado mayor desarrollo es el del *Aislamiento Sísmico*, la cual consiste en apoyar a la estructura no directamente sobre el terreno sino sobre aisladores que desacoplen el movimiento del suelo con respecto al de la estructura, reduciendo de esta manera la respuesta sísmica. Este sistema de aislamiento da a la estructura un periodo fundamental que es mucho más alto que el periodo de la base fija y también disminuyen las frecuencias predominantes del movimiento de tierra. El primer modo dinámico de la estructura aislada implica la deformación solamente en el sistema del aislamiento. El sistema del aislamiento absorbe la energía del terremoto y la desvía con la dinámica del sistema. El aislamiento sísmico tiene dos principios fundamentales que son la flexibilización y el aumento de amortiguamiento, logrando reducir las aceleraciones y concentrando el desplazamiento en el sistema de aislamiento con la contribución de la amortiguación.

2.6. Historia y Desarrollo del Aislamiento Sísmico

2.6.1. Historia del Aislamiento Sísmico

El aislamiento sísmico es un concepto que ha sido desarrollado desde hace ya mas de 100 años, sin embargo ha tenido mayor auge desde hace 20 años. Tanto en la investigación como en la aplicación en el área de la Ingeniería Civil.

Desde la antigua Grecia en el año 2000 A.C. con la construcción del Palacio de Knossos. Donde la cimentación de este palacio se encontraba sobre una capa de arena fina. Ver fig.2.9

También se encuentra el Partenon de Atenas cuyas columnas de mármol se encontraban en su base conectadas al cimiento por medio de unas conexiones metálicas. Ver fig.2.10

En Roma en el año 70 D.C. el Coliseo Romano fue construido sobre varias capas de materiales dispuestas una sobre otra como es: una capa de arcilla gruesa en la base, una capa de piedras medianas a la mitad y una capa de piedras pequeñas en contacto con la cimentación. Ver fig.2.11

Todos ellos son conceptos rústicos de aislamiento orientados a disipar la energía de los movimientos sísmicos buscando desconectar la estructura del terreno.



185970

Figura 2.9. Palacio de Knossos-Grecia 2000 A.C

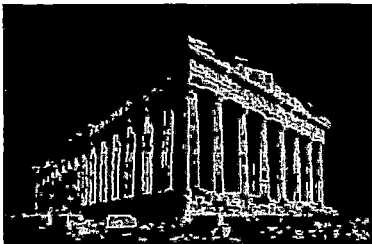


Figura 2.10. Partenón-Grecia 400 A.C

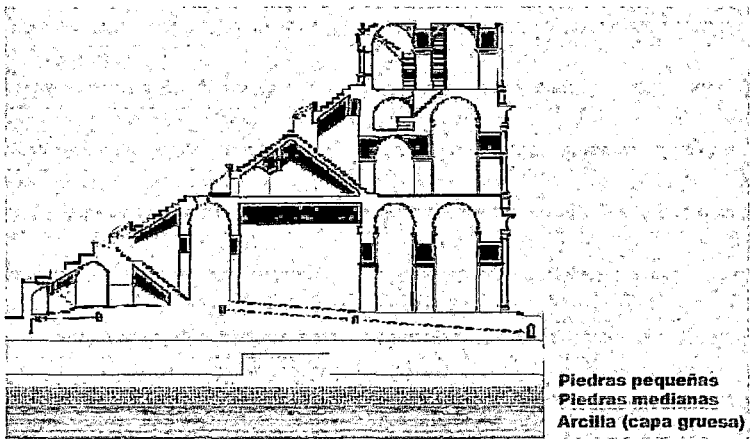


Figura 2.11. Partenón-Grecia 400 A.C

En el año 1885 el ingles John Milne, profcesor de la universidad de Tokio entre los años 1876 a 1895, realizo varios experimentos de aislación sismica con esferas de deslizamiento desde 10 pulgadas hasta 1/4 de pulgada de diametro. Concluyendo

que para esferas de diametro $1/4$ de pulgada la estructura es mas estable.

En el último siglo se han buscado diversos mecanismos que sirvan para desacoplar a la estructura del suelo con el objetivo de reducir las fuerzas y como consecuencia los daños.

Por ello se construyeron los primeros edificios con aislación sísmica en distintos lugares del mundo, como son: en Ucrania en la ciudad de Sevastopol se construyo un edificio sobre rotulas al igual que una escuela en la Ciudad de México y el Observatorio Sismológico en Beijing, ha estado construido en un estrato de arena entre el edificio y la fundación diseñada así específicamente para resbalarse en el caso de un terremoto.

En el año 1969 se construyo el primer edificio con aislamiento sísmico basado en bloques de caucho. Se trata de la escuela Pestalozzi de tres pisos hecha de concreto en la ciudad de Skopje en Yugoslavia. Ver fig.2.12

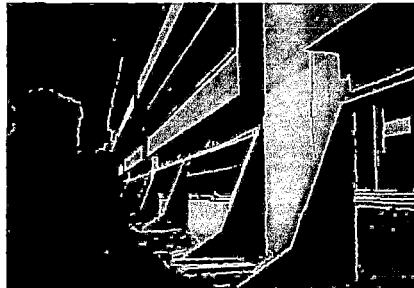


Figura 2.12. Escuela Pestalozzi en Skopje - Yugoslavia.

A finales de los años 70, se inicio el desarrollo de la los aisladores elastomericos con refuerzos de laminas de acero intercalada.

En 1981 se terminó el primer edificio aislado con aisladores elastomericos con núcleo de plomo (LRB): Edificio William Clayton en Wellington, Nueva Zelanda.

y entre el año 1984 y 1985 se construyo el primer edificio con aisladores elaborados con caucho de alto amortiguamiento natural en los Estados Unidos. Se trata del Centro de Leyes y Justicia de las Comunidades de la Colina (FCLJC) en los Ángeles. Ver fig.2.13

Otros edificio también fueron construidos como son: El Cuerpo de Bomberos y Facilidades de Control (FCCF), en el condado de Los Ángeles.

El Centro de Operaciones de Emergencia(EOC). Es un edificio de 2 pisos y su estructura fue aislada usando 28 cojinetes de goma natural de alto amortiguamien-

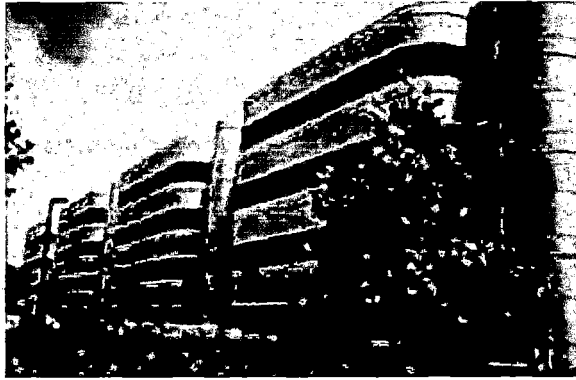


Figura 2.13. El Centro de Leyes y Justicia de las Comunidades de la Colina (FCLJC) en los Ángeles.

to.Ver fig.2.14

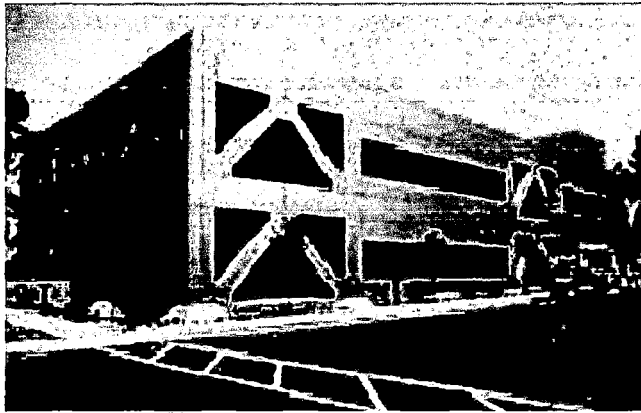


Figura 2.14. Edificio del Centro de Operaciones de Emergencia(EOC).

El M.L. King C.R. Drew Diagnostics Trauma Center en Willowbrook, que fue construido en el condado de los Ángeles, es un edificio de cinco pisos con un área de 13000 m^2 , la estructura está soportada por 70 cojinetes de goma natural de alto amortiguamiento y 12 soportes deslizantes con platos de bronce que se desplazan sobre una superficie de hierro. Los aisladores tienen 1.0 m de diámetro y en ese entonces eran los más grandes fabricados en Estados Unidos.

Las Instalaciones para la Creación de Simulador de Vuelo creado con el propósito de aislar el sistema para proteger los inventos de los sistemas de computadoras en la instalación, cuyo valor sobrepasa los cien millones de dólares. Consta de un edificio de cuatro pisos y con un área de 10800 m^2 se localiza muy cerca de la Falla de Wastach, que tiene una capacidad de generar sismos de magnitudes de 7.0 a 7.5 con un largo periodo de retorno. Existen 98 aisladores en la estructura, 50 de los

cojinetes son cuadrados de 460 mm con un diámetro de 90 mm del núcleo de plomo, los 48 aisladores restantes son de 380 mm, el desplazamiento estimado requerido para el sistema fue 230 mm en un periodo nominal de 2.0 segundos.

Otros edificios fueron reforzados debido a que han sido afectados por sismos como son: El reforzamiento de los edificios: Oakland City Hall, San Francisco City y los Angeles City Hall. Todos ellos fueron dañados en 1989 por el sismo de Loma Prieta.

Los Angeles City Hall utilizó 475 aisladores de goma de alto amortiguamiento para el esquema de reforzamiento que alcanzó un costo estimado de 150 millones de dólares. Ver fig.2.15

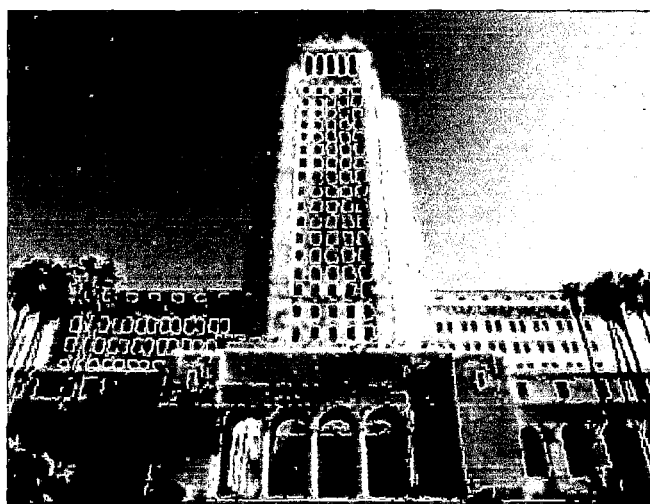


Figura 2.15. Edificio de Los Angeles City Hall.

El San Francisco City Hall utilizó 530 cojinetes con núcleo de plomo para su reforzamiento. Ver fig.2.16

En Japón entre los años 1985 y 1994 se inició el avance de la economía japonesa, y el número de edificios aislados empezó a incrementarse a razón de 10 edificios por año. A partir del año de 1995 cuando ocurrió el terremoto de Kobe, el número de edificios aislados alcanzó los 80 por año.

Se usaron más comúnmente los aisladores tipo LRB o aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y los HDR o aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.

Para el mes de marzo de 1997, Japón ya contaba con 393 edificios registrados, se proyectaban 200 más por año. De los 393 proyectos, 228 son edificios para vivienda, 84 son para oficinas, 31 para hospitales y 22 edificios gubernamentales, sin contar



Figura 2.16. Edificio de San Francisco City Hall.

los proyectos de reforzamiento.

Otros países que estuvieron a la vanguardia de la construcción con aisladores sísmicos fueron: Italia y Nueva Zelanda. Ver fig.13.44,fig.13.45,fig.13.46

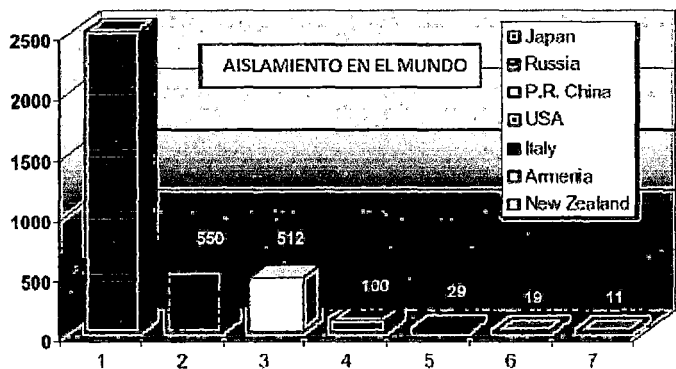


Figura 2.17. Evolución del uso del aislamiento sísmico a nivel mundial al año 2004.

En américa latina el país que tuvo mayor desarrollo en el aislamiento sísmico es Chile. Entre los edificios actualmente aislados en Chile se tiene: un bloque del conjunto habitacional Comunidad Andalucía construido entre los años 1991 y 1992, para un estudio hecho por la Universidad Católica de Chile Ver fig. 2.20 ,el centro médico San Carlos de Apoquindo de la Universidad Católica de Chile construido en el año 2000 y el Hospital Militar inaugurado en el año 2008.Ver fig. 2.21

Antes del terremoto del 27 de febrero de 2010, Chile había dado algunos pasos significativos en cuanto al desarrollo y aplicación de la tecnología sismorresistente. Después de ella se dio un desarrollo exponencial erigiendo en su mayoría, construc-

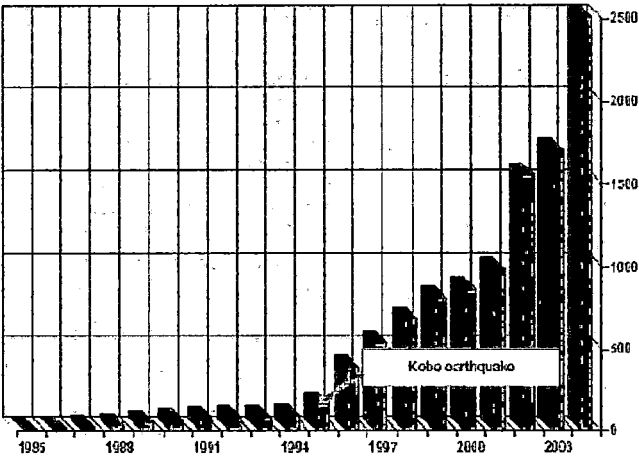


Figura 2.18. Evolución del uso del aislamiento sísmico en Japón al año 2004.

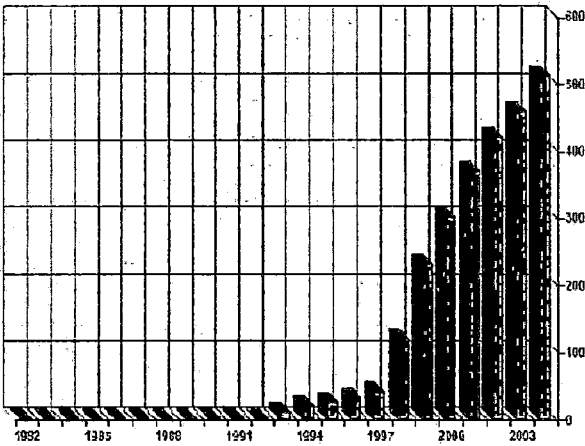


Figura 2.19. Evolución del uso del aislamiento sísmico en China al año 2004.

ciones hospitalarias e industriales. Actualmente Chile cuenta con un código de diseño de edificaciones con aislamiento sísmico, el NCH-2745 del 2003. En el Perú la difusión de estos sistemas aun es menor. Sin embargo esta en proceso de construcción de un par de edificaciones con estos sistemas: El edificio corporativo de la empresa nacional Graña y Montero en el distrito de Miraflores y el centro de información de la facultad de ingeniería civil de la UNI ambos en la ciudad de Lima. Ver fig. 2.22

Otra edificación que aun esta en proyecto es el Atlantik Ocean Tower que es un proyecto residencial.

También existieron regulares desarrollos a nivel de construcciones hechas en los países de México, Argentina, Colombia y Ecuador.



Figura 2.20. Conjunto habitacional Comunidad Andalucía.



Figura 2.21. Centro médico San Carlos de Apoquindo de la Universidad Católica de Chile.

2.6.2. Historia de la reglamentación del Aislamiento Sísmico

El desarrollo de la reglamentación en el aislamiento sísmico se da de acuerdo a la siguiente:

- En 1986 la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), comenzó con la elaboración de una reglamentación la cual fue publicada en el apéndice 1L en el libro azul de la SEAOC en 1990.
- La Conferencia Internacional de Oficiales Construcción (ICBO) hizo cambios editoriales menores al apéndice 1L y los incluyó en el Código Uniforme para la Construcción (UBC) como un apéndice no mandatorio al capítulo 23.

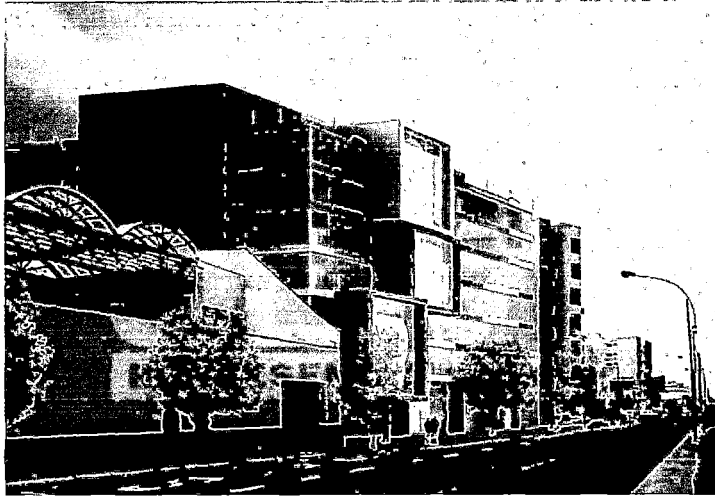


Figura 2.22. Construcción de edificio corporativo de la empresa nacional Graña y Montero.

- El último UBC del año 1997, trae un código mucho más elaborado, en donde se hace un énfasis en el análisis dinámico para el diseño.
- La Agencia Federal para el Manejo de Emergencia (FEMA) desde 1997 ha desarrollado guías para el diseño de edificaciones con aisladores sísmicos y rehabilitaciones con esta como son: FEMA 273, FEMA 274, FEMA 356, FEMA 357, FEMA 450 y FEMA 451.
- En latinoamérica el código chileno en su NCH-2745 toma como base el UBC-97, y es publicado en el año 2003.
- Las últimas reglamentaciones de diseño de estructuras aisladas sísmicamente fueron hechas por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) en los estándares ASCE 7-05.
- En el Perú no se cuenta en la actualidad una reglamentación propia del uso de estos sistemas. Sin embargo el 14 de marzo del 2014 se promulgo el Decreto Supremo N.002-2014-Vivienda, donde se dispone la incorporación del Anexo 03 "Sistemas de Protección Sísmica, específica para el caso de Establecimientos de Salud" a la norma Técnica de Edificación E 030 "Diseño Sismorresistente", del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Dicho Anexo a la letra dice:

ANEXO N 3

*“SISTEMAS DE PROTECCION SISMICA”, ESPECÍFICA PARA EL
CASO DE ESTABLECIMIENTOS DE SALUD.*

- 1.- *Los establecimientos de salud, como hospitales, institutos o similares según clasificación del Ministerio de Salud, ubicados en las zonas sísmicas 3 y 2 del mapa sísmico del Perú, deben ser diseñados con sistemas de protección sísmica: aislación de base o dispositivos de disipación de energía. Las edificaciones que alojen los servicios indicados en la Tabla N 1, deberán necesariamente ser dotadas de sistemas de aislación sísmica. En tanto no haya una norma técnica peruana, el diseño se hará de acuerdo al estándar ASCE/SEI 7 última edición.*
- 2.- *El proyecto, construcción y supervisión deben ser responsabilidad de ingenieros civiles colegiados, de acuerdo a lo estipulado en el R.N.E.*

TABLA N 1

UNIDADES PRODUCTORAS DE SERVICIOS DE SALUD

1. *Consulta Externa*
2. *Emergencia*
3. *Hospitalización y UCI*
4. *Centro Quirúrgico y Obstétrico*
5. *Medicina de Rehabilitación*
6. *Farmacia*
7. *Patología Clínica*
8. *Diagnóstico por imágenes*
9. *Centro de hemoterapia o Banco de Sangre*
10. *Hemodiálisis*
11. *Nutrición y Dietética*
12. *Central de Esterilización*
13. *Radioterapia*
14. *Medicina Nuclear*

2.7. Tipos de Aisladores

Existen varios tipos de aisladores entre los mas importantes se pueden destacar:

1. Aisladores elastomericos de caucho natural o aisladores de caucho de bajo amortiguamiento.(LDR)
2. Aisladores elastomericos de alto amortiguamiento(HDR).
3. Aisladores elastomericos con núcleo de plomo(LRB).
4. Aisladores de base tipo péndulo fricción (FPS)

A continuación se da una descripción detallada de cada una de ellos:

1. Aisladores elastomericos de caucho natural o aisladores de caucho de bajo amortiguamiento(LDR).

Este tipo de aisladores fueron los primeros que se usaron para el aislamiento sísmico. Fueron utilizados en la escuela de Pestalozzi en Skopje-Macedonia. Estaban compuestos por simples bloques de caucho sin ningún tipo de refuerzo, lo que ocasionaba que a la acción del peso de la edificación se abultaran a los costados. Actualmente se utilizan caucho en laminas múltiples intercaladas y reforzadas con laminas de acero lo que le da mayor rigidez en el sentido vertical y flexibilidad en el sentido horizontal. Ver fig.2.23, fig.2.24 y fig.2.25 algunas de las características de este tipo de aislador es:

- El amortiguamiento efectivo es de 2 a 3 %
- La deformación de corte directa máxima o relación de la deformación lateral entre el espesor de la lamina de caucho alcanza niveles de hasta el 100 %.

las principales ventajas y desventajas de este tipo de aislador es:

Ventajas

- Son simples de elaborar
- Son resistentes a las inclemencias del tiempo, ambiente y temperatura.

Desventajas

- No tienen suficiente amortiguamiento, por ello requieren de amortiguadores adicionales



Figura 2.23. Primeros aisladores instalados en la escuela Pestalozzi sin refuerzo de laminas de acero.

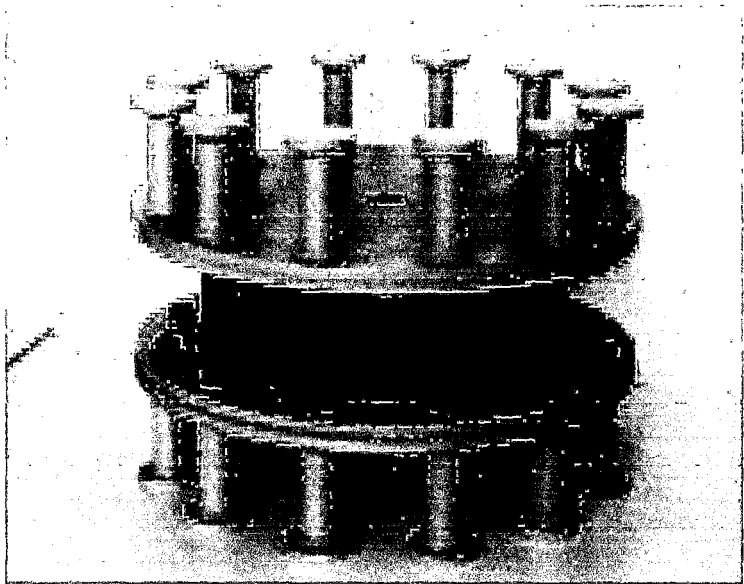


Figura 2.24. Aislador tipo LDR version actual con refuerzos de laminas de acero.

2. Aisladores elastomericos de alto amortiguamiento(HDR).

El aislador elastomérico de alto amortiguamiento consta, como en el caso de los aisladores LDR, de laminas de goma intercaladas con laminas de acero. Pero en este caso se utiliza una goma que es combinada con aditivos como carbón en polvo, aceites, resinas, polímeros u otros elementos, que le dan al caucho propiedades especiales como un alto amortiguamiento y mejores propiedades ante altas deformaciones.

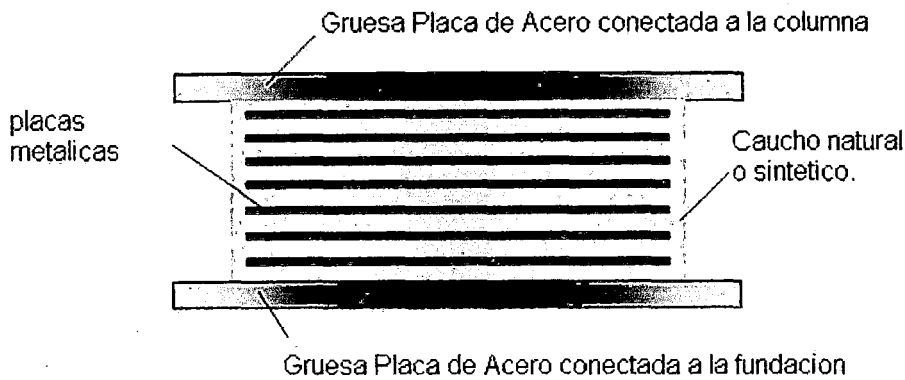


Figura 2.25. Composición de los aisladores tipo LDR.

Estos dispositivos han sido usados e instalados en una variedad de edificios en Japón, los Estados Unidos, e Italia. Ver fig.2.26,fig.2.27,fig.2.28

algunas de las características de este tipo de aislador es:

- El amortiguamiento efectivo es de 10 a 20 %
- La deformación de corte directa máxima o relación de la deformación lateral entre el espesor de la lamina de caucho alcanza niveles de hasta el 300 %.

las principales ventajas y desventajas de este tipo de aislador es:

Ventajas

- Tienen un alto amortiguamiento sin requerimiento de amortiguadores adicionales

Desventajas

- Sufren deterioro con el paso del tiempo y algunos son sensibles a daño por el medio ambiente.

En general los aisladores elastomericos son elaborados a una temperatura de 140°C . Durante este proceso la goma se vulcaniza con las planchas de acero, adquiriendo su propiedad elástica. Y lo mas importante, la adherencia debe ser mas resistente que la goma misma. En caso de falla por cizalle, este debería ocurrir por ruptura de la goma antes que por una falla del pegamento goma - acero.

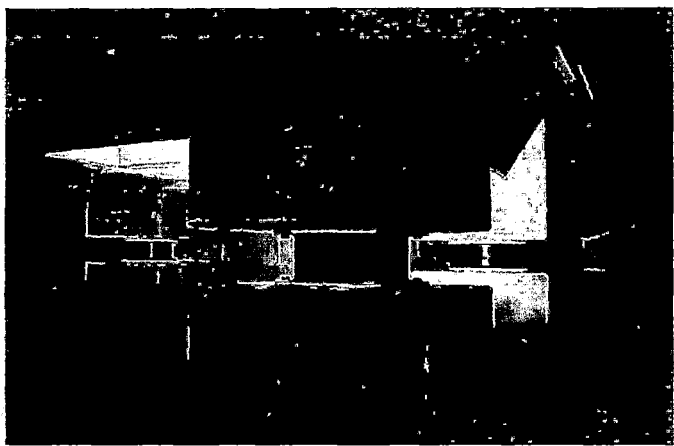


Figura 2.26. Colocación del aislador tipo HDR.

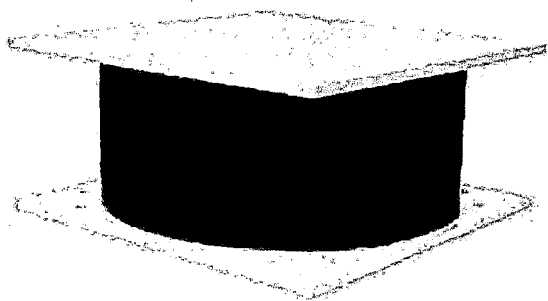


Figura 2.27. Aislador tipo HDR.

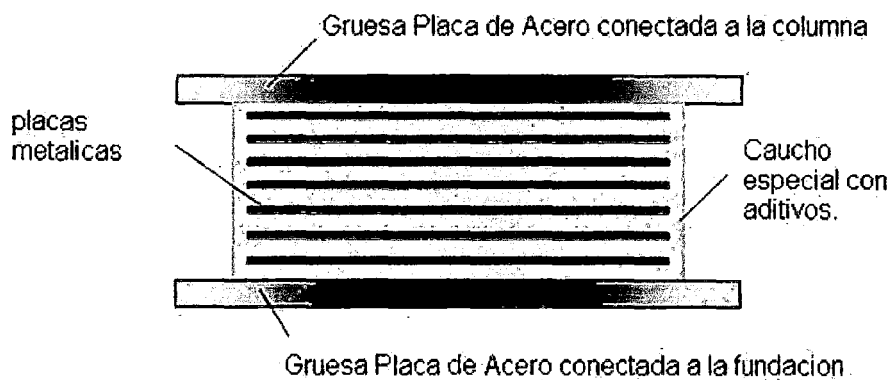


Figura 2.28. Composición de los aisladores tipo HDR.

3. Aisladores elastomericos con núcleo de plomo(LRB).

Los aisladores tipo LRB son el mejoramiento de los aisladores tipo LDR.Porque supera las deficiencias del amortiguamiento con el uso de un núcleo de plomo

en el centro del aislador. El núcleo de plomo está insertado en el aislador con una presión alta. De tal manera que se considera fusionada con el elastomero como una sola unidad. El núcleo de plomo es diseñado en su tamaño (diámetro) para que pueda producir la cantidad requerida de amortiguamiento.

Bajo deformación lateral, el plomo se deforma en un estado de corte puro y fluye a una tensión cercana a los 10 Mpa a temperatura ambiente. Esto lleva a que el sistema de aislación se desplace produciendo numerosos ciclos Histeréticos estables.

Otra de las propiedades del plomo es que es capaz de re cristalizarse a temperatura ambiente 20°C aproximadamente y su fluencia repetida no produce falla por fatiga.

Estos dispositivos son fabricados a medida para cada proyecto, de acuerdo a la rigidez horizontal, rigidez vertical, desplazamiento, capacidad de carga y capacidad de amortiguamiento requerida. Ver fig.2.29, fig.2.30.

algunas de las características de este tipo de aislador es:

- El amortiguamiento efectivo es de 15 a 35 %
- La deformación de corte directa máxima o relación de la deformación lateral entre el espesor de la lamina de caucho alcanza niveles de hasta el 250 %.

las principales ventajas y desventajas de este tipo de aislador es:

Ventajas

- Tienen un alto amortiguamiento sin requerimiento de amortiguadores adicionales.
- Son resistentes a las inclemencias del tiempo, ambiente y temperatura.

4. **Aisladores de base tipo péndulo fricción (FPS).** Este tipo de aisladores consta de un sistema de aislamiento que tiene como principal característica la capacidad de deslizamiento y la presencia de una fuerza restauradora generada por la inercia de la estructura.

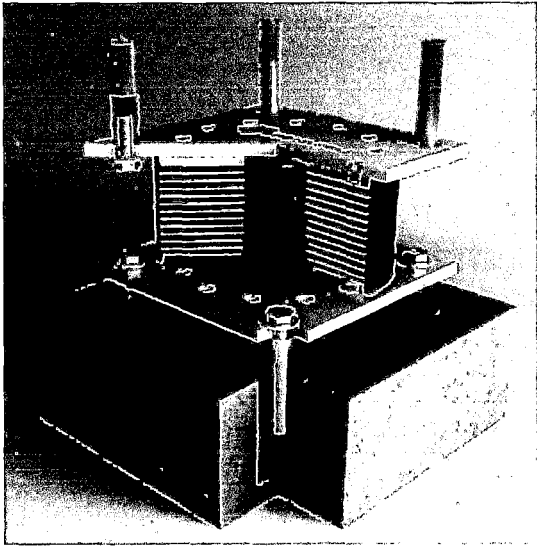


Figura 2.29. Aislador tipo LRB.

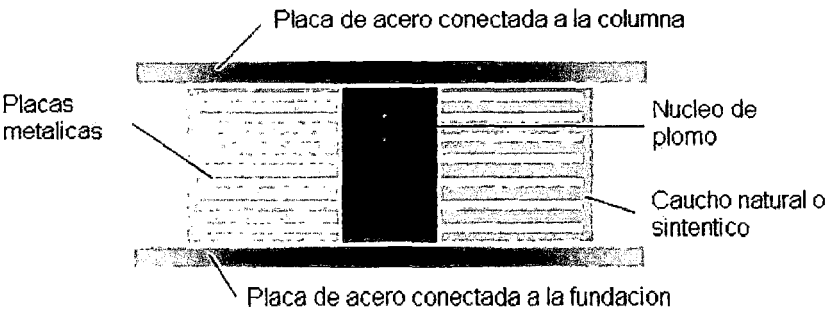


Figura 2.30. Composición de los aisladores tipo LRB.

La composición del péndulo de fricción esta dada por: un deslizador que está conectado hacia una superficie de acero inoxidable, que conforman la base del aislador. la propiedad de deslizamiento continuo del deslizador se da gracias a su cobertura con un material compuesto de baja fricción a base de teflón.

Luego encima de la base se coloca otra placa de acero inoxidable con una superficie en su parte superior plana, que estará en contacto con la estructura. Y en su parte inferior de forma cóncava, que estará en contacto con el deslizador. Igual que el deslizador esta placa estará cubierta de material de baja fricción

A medida que el soporte se mueve sobre la superficie esférica, la masa que ésta soporta sube, otorgando al sistema una fuerza restauradora. La rigidez efectiva del aislador y el periodo de oscilación de la estructura están controlados por el radio de curvatura de la superficie cóncava. Ver fig.2.31,fig.2.32,fig.2.33.

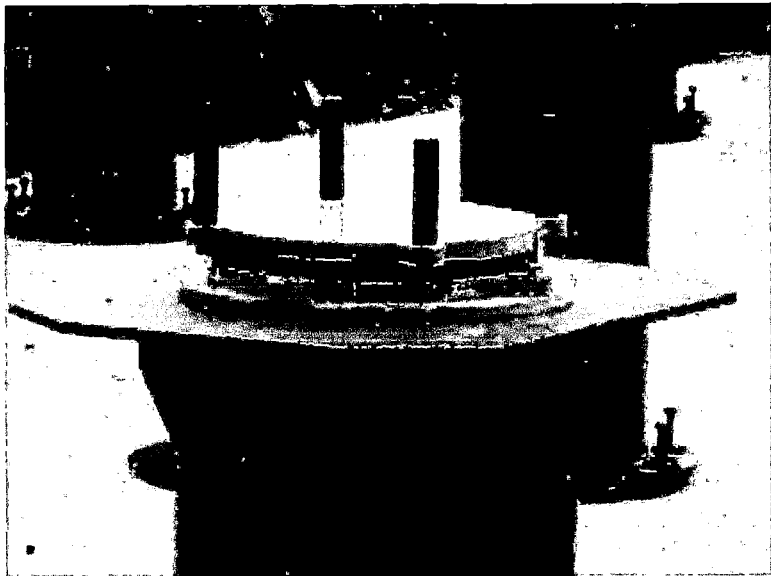


Figura 2.31. Colocación del aislador tipo FPS.

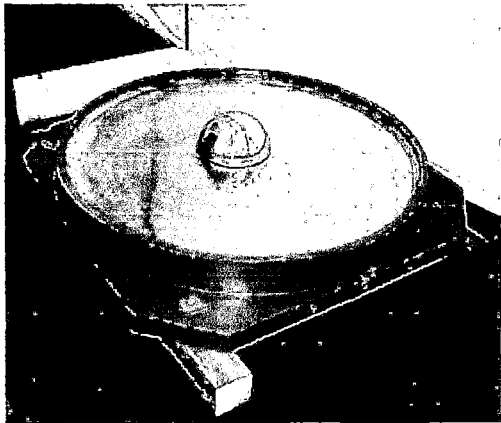


Figura 2.32. Aislador tipo FPS.

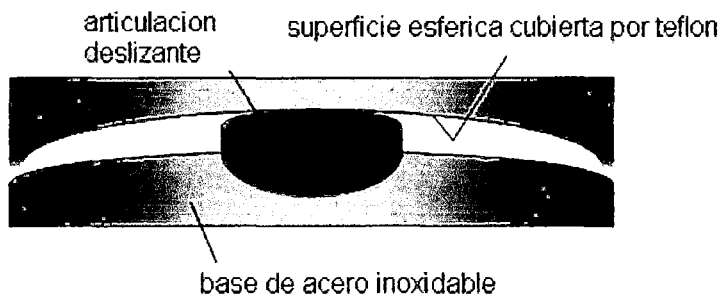


Figura 2.33. Composición de los aisladores tipo FPS.

5. Aisladores de base utilizando sistemas de resorte.

Estos sistemas proporcionan un aislamiento tridimensional completo, usando

resortes para lograr este objetivo. Se usan grandes resortes helicoidales de acero que son flexibles horizontal y verticalmente. Los resortes están totalmente desprovistos de amortiguamiento y siempre son usados en conjunto con un sistema de amortiguamiento. Ver fig.2.34,fig.2.35.

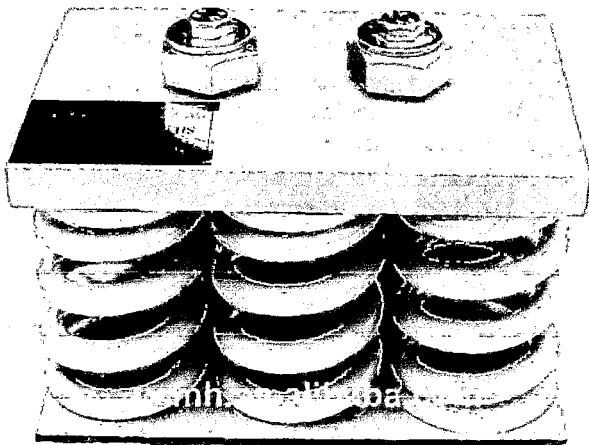


Figura 2.34. Aislador con sistema de resortes.

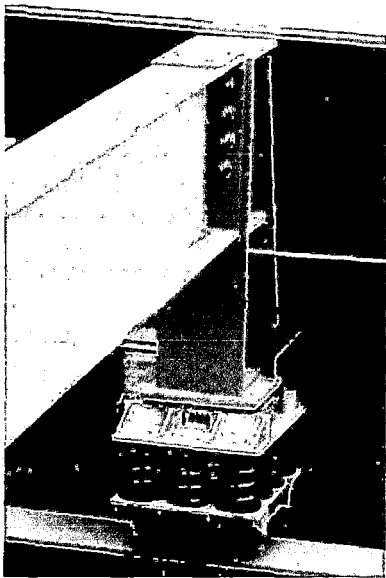


Figura 2.35. Colocación del aislador con sistema de resortes.

2.8. Comportamiento de Sistema Aisladores, Estructura y Cimentación

Como se vio en secciones anteriores, el aislamiento sísmico es una técnica que consiste en desacoplar una estructura del suelo, colocando un mecanismo entre la cimentación de la estructura y el suelo.

Este dispositivo es muy flexible en la dirección horizontal; pero, sumamente rígido en la dirección vertical.

Los edificios aislados sísmicamente logran tener un comportamiento superior al de los edificios convencionales, es decir, luego de un sismo los edificios pueden ser habilitados inmediatamente, ya que tanto la estructura como su equipamiento no sufrirán mayores daños.

A continuación se presentan el comportamiento de los sistemas aislados en diferentes estados de uso de aisladores sísmicos:

1. *Comportamiento del sistema aislado en función a la altura de la edificación: altas con medianas a bajas.*

En edificaciones de pequeña a mediana altura en el rango de 1 a 10 pisos, el periodo fundamental son bajas. La principal función del aislamiento sísmico es la de ampliar el periodo del sistema estructural, haciendo que la estructura experimente grandes desplazamientos en su base. Teniendo a los desplazamientos en la superestructura en el rango elástico con deformaciones mínimas.

Para edificaciones altas el periodo fundamental es alto en el rango de 2 a mas segundos. El uso de los aisladores sísmicos no seria factible económicamente, pues la edificación ya tiene un periodo alto. Siendo mas importante la reducción de las derivas con el aumento del amortiguamiento con dispositivos disipadores de energía. Además los aisladores sísmicos tienen mucha mayor resistencia a esfuerzos verticales de compresión que a tensión. Y su uso en edificaciones altas provocaría ocasionalmente tensiones en estos dispositivos. Ver fig.2.36, fig.2.37.

2. *Comportamiento del sistema aislado en función al tipo de suelo: flexible o rígido.*

El comportamiento de los sistemas aislados en suelos flexibles como es el tipo S4, es desfavorable, debido a que los suelos con estas características pueden

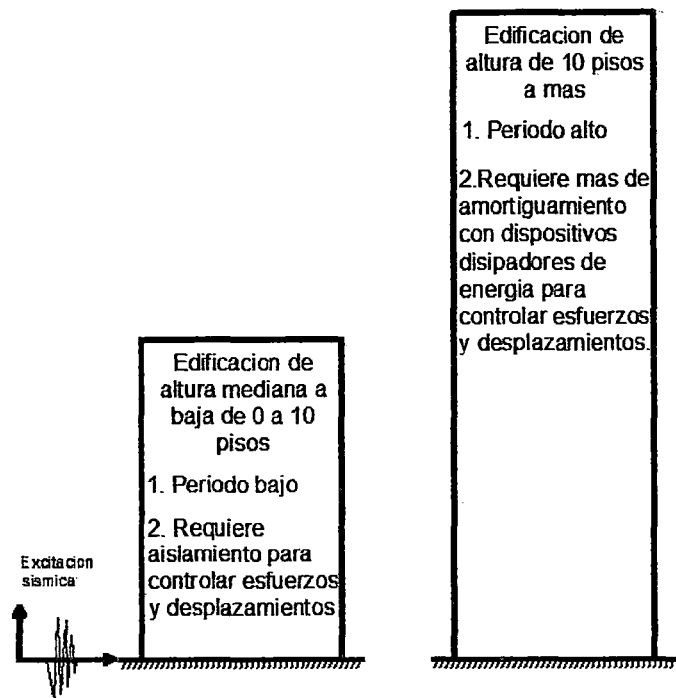


Figura 2.36. Comparación de estructuras con cimentación con respecto a su altura.

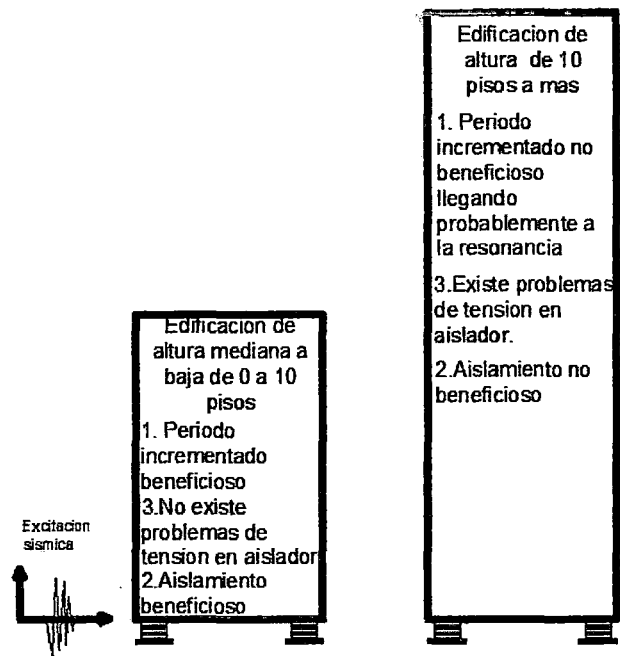


Figura 2.37. Comparación de estructuras con aisladores con respecto a su altura.

filtrar las altas frecuencias generadas por el sismo y generar frecuencias que produzcan periodos largos. Esto no es beneficioso para la estructura específicamente para las altas, sufriendo daños severos y posterior colapso.

En la Fig.2.38, la línea roja representa la respuesta del suelo flexible y la línea azul la respuesta del suelo rígido. Se puede observar que las estructuras flexibles que tienen mayor periodo estarían sometidas a mayores fuerzas cortantes cuando están sobre suelos flexibles.

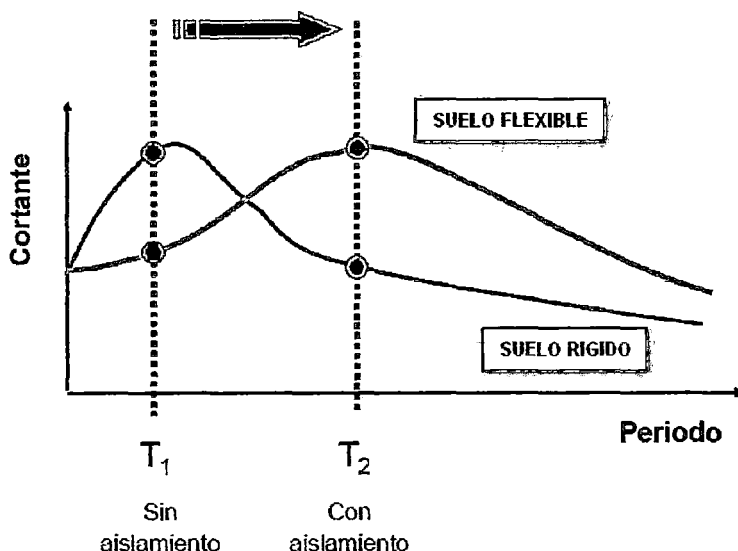


Figura 2.38. Comparación de estructuras con aisladores con respecto al tipo de suelo.

3. Comportamiento del sistema aislado en función a la variación del amortiguamiento.

Los aisladores proporcionan mayor flexibilidad en la interfase de aislamiento. Adicional a esta ofrece también un amortiguamiento dependiendo del tipo de aislador que se use. Al aumentar el amortiguamiento en el sistema, las aceleraciones disminuyen y por ende las fuerzas laterales también, la Fig.2.39 representa esto. La disminución en las fuerzas laterales también se ve beneficiada con una reducción de los desplazamientos necesarios para llegar a dichas fuerzas sin incurrir en un incremento del periodo. Véase Fig.2.40

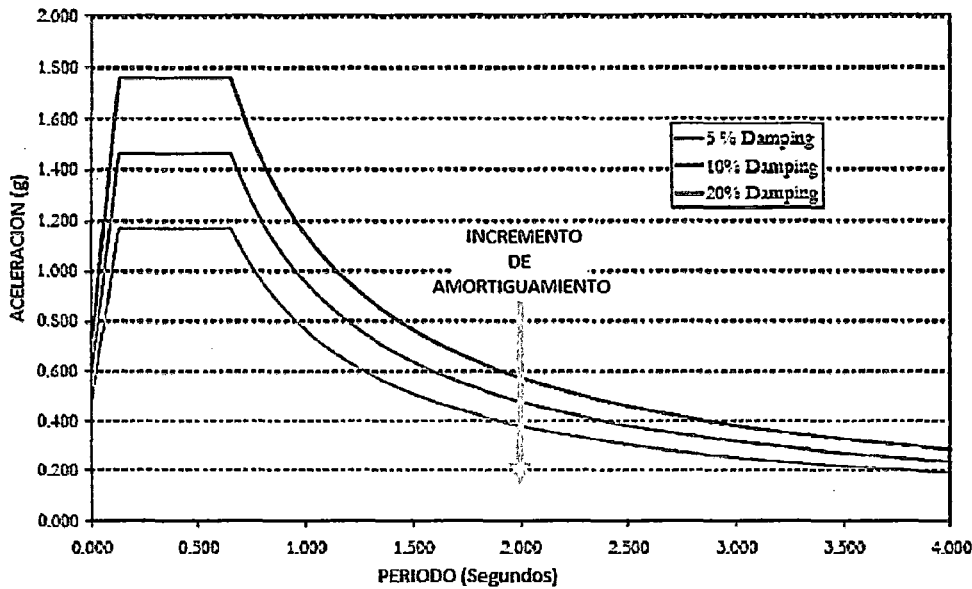


Figura 2.39. Variación de la aceleración en el tiempo, en función del incremento del amortiguamiento.

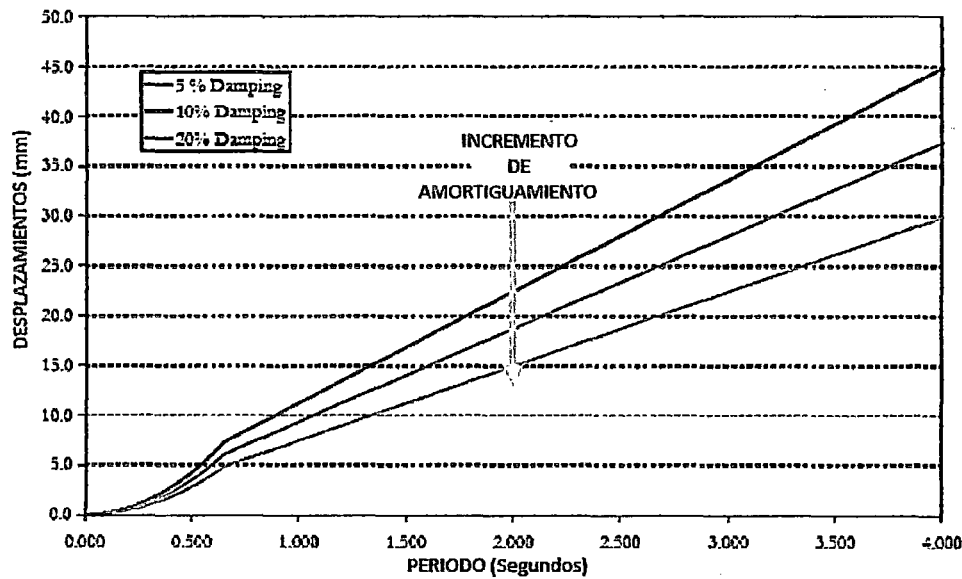


Figura 2.40. Variación del desplazamiento en el tiempo, en función del incremento del amortiguamiento.

Capítulo 3

Teoría Dinámica de Estructuras con Aisladores

3.1. Sistema Aporticado Plano con Aisladores.

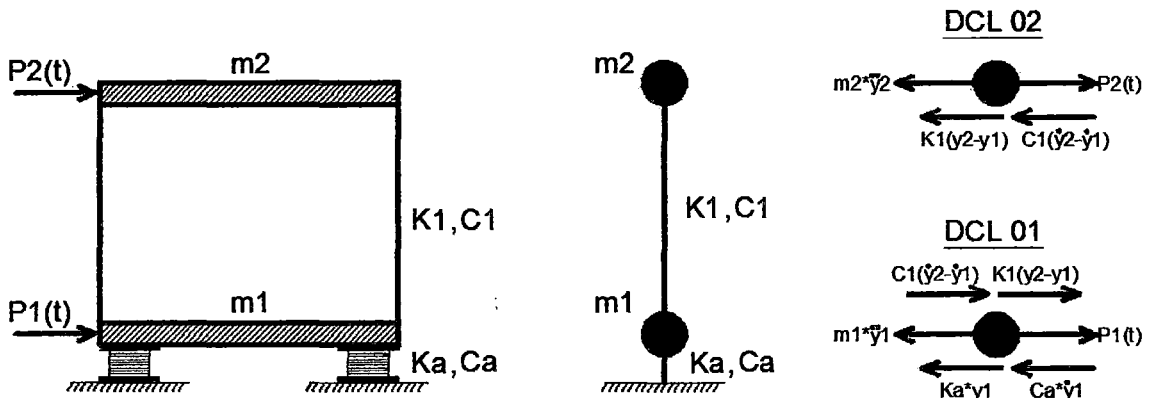


Figura 3.1. Modelamiento de un pórtico plano con aisladores.

Evaluando el diagrama de cuerpo libre (DCL 01)[23]:

$$m_1 \ddot{y}_1 + c_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 - c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2 (y_2 - y_1) = P_1(t)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 + (c_1 + c_2) \dot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 - c_2 \dot{y}_2 - k_2 y_2 = P_1(t) \quad (3.1)$$

Evaluando el diagrama de cuerpo libre (DCL 02):

$$m_2 \ddot{y}_2 + c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2 (y_2 - y_1) = P_2(t)$$

$$m_2\ddot{y}_2 + c_2\dot{y}_2 - c_2\dot{y}_1 + k_2y_2 - k_2y_1 = P_2(t) \quad (3.2)$$

La ecuación de equilibrio dinámico correspondiente al sistema se da de acuerdo a la ecuación 3.3.:

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = P(t) \quad (3.3)$$

La cual en forma detallada se expresa de acuerdo a la ecuación 3.4.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_a + c_1 & -c_1 \\ -c_1 & c_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_a + k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

1. Vibración Libre sin Amortiguamiento

Para el caso de la vibración libre no amortiguada se considera los siguientes:

$$c_1 = 0, c_2 = 0, P_1(t) = 0, P_2(t) = 0$$

Entonces la ecuación 3.3 se ve reducida de acuerdo a la ecuación 3.5.:

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [K]\{Y\} = \{0\} \quad (3.5)$$

La cual en forma detallada se expresa de acuerdo a la ecuación 3.6.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_a + k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

La solución para estas ecuaciones diferenciales de segundo grado son 3.7,3.8 :

$$y_1 = \emptyset_1 \sin(wt + \alpha) \quad (3.7)$$

$$y_2 = \emptyset_2 \sin(wt + \alpha) \quad (3.8)$$

Reemplazando estas soluciones a la ecuación 3.6 se tiene la ecuación 3.9:

$$\left(\begin{bmatrix} k_a + k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} - w^2 \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \emptyset_1 \\ \emptyset_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

La cual en forma compacta se expresa de acuerdo a la ecuación 3.10.

$$([K] - w^2[M]) \{\emptyset\} = 0 \quad (3.10)$$

La solución de este sistema de ecuaciones se da de dos maneras: Una solución trivial y otra no trivial con la solución trivial no existe solución y con la solución no trivial existe solución y se da de acuerdo a la siguiente determinante. Ecuación 3.11 y 3.12 :

$$|[K] - w^2[M]| = 0 \quad (3.11)$$

$$\begin{vmatrix} k_a + k_1 - w^2 m_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 - w^2 m_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (3.12)$$

Con la solución de la determinante, se obtiene los valores de las frecuencias de vibración al cuadrado. Correspondiente a cada modo de vibración,teniéndose:

w_1^2 : correspondiente al primer modo de vibrar

w_2^2 : correspondiente al segundo modo de vibrar

Reemplazando estos valores en las ecuaciones disgregadas de la ecuación 3.9 se tiene:

Sustituyendo w_1^2 se tiene las ecuaciones 3.13 y 3.14 :

Asumiendo

$$\emptyset_{1,1} = 1 \quad (3.13)$$

Se normaliza los modos de vibración,entonces reemplazando se tiene:

$$\emptyset_{2,1} = \frac{k_a + k_1 - w_1^2 m_1}{k_2} \emptyset_{1,1} \quad (3.14)$$

Sustituyendo w_2^2 se tiene las ecuaciones 3.15 y 3.16 :

Asumiendo

$$\emptyset_{1,2} = 1 \quad (3.15)$$

Se normaliza los modos de vibración,entonces reemplazando se tiene:

$$\emptyset_{2,2} = \frac{k_a + k_1 - w_2^2 m_1}{k_2} \emptyset_{1,2} \quad (3.16)$$

El primero modo es considerado para el que tiene la frecuencia mas baja y por ende el periodo.mas alto.Ver Fig.3.2

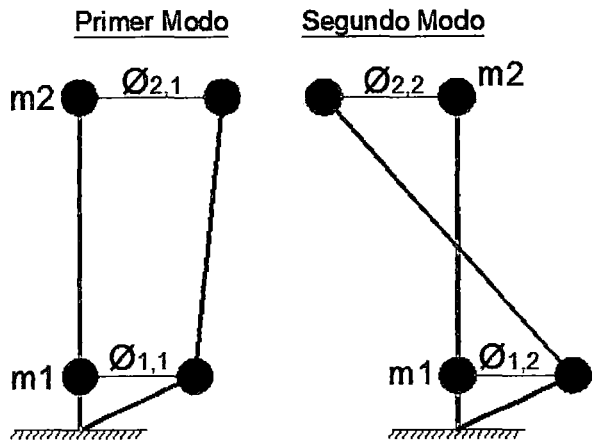


Figura 3.2. Primer y segundo modo de vibración en pórtico plano aislado

En una estructura con un sistema aislado el periodo mas predominante es el del primer modo, así se prevee un comportamiento dominado por el primer modo

En una estructura aislada,los desplazamientos del primer modo son los únicos que tienen valores lo suficientemente altos para ser tomados en consideración. Así el desplazamiento se da mayormente en el sistema de aislamiento y las deformaciones en la superestructura son mínimas.

Los modos superiores que concentran la deformación en la estructura son ortogonales al primer modo y, en consecuencia, al movimiento del suelo.

Estos modos superiores participan minimamente en el movimiento, así que la energía más alta en el sismo y sus frecuencias superiores pueden no ser transmitidas a la estructura.

Así se obtiene la matriz modal. Ver ecuación 3.17 :

$$EGV = \begin{bmatrix} \phi_{1,1} & \phi_{2,1} \\ \phi_{1,2} & \phi_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \phi_{1,2} & \phi_{2,2} \end{bmatrix} \tag{3.17}$$

La matriz modal normalizada se obtiene con el uso de la ecuación3.18 :

$$N_{j,n} = \frac{\emptyset_{j,n}}{\left(\sum m_{j,j} * \emptyset_{j,n}^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (3.18)$$

Entonces se obtiene la matriz modal normalizada, ecuación3.19:

$$\emptyset_N = \begin{bmatrix} \emptyset_{N1,1} & \emptyset_{N2,1} \\ \emptyset_{N1,2} & \emptyset_{N2,2} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Los vector de los factores de participación modal son calculados con la ecuación3.20.

$$[P] = \frac{[\emptyset_N]^T \cdot [M] \cdot \{1\}}{[\emptyset_N]^T \cdot [M] \cdot [\emptyset_N]} \quad (3.20)$$

Como $[\emptyset_N]^T \cdot [M] \cdot [\emptyset_N] = [I]$, para la matriz modal normalizada, entonces $[P]$ se reduce a la ecuación3.21:

$$[P] = [\emptyset_N]^T \cdot [M] \cdot \{1\} \quad (3.21)$$

2. Vibración Forzada sin Amortiguamiento

Para la solución de un sistema estructural con vibración forzada sin amortiguamiento se usa el método de superposición modal. Este método expresa el movimiento forzado en función de los modos normales de vibración, y la respuesta total puede obtenerse mediante la superposición de las soluciones modales independientes. La ecuación de un sistema lineal de N grados de libertad esta dado por la ecuación3.22:

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [K]\{Y\} = P(t) \quad (3.22)$$

Se hace la transformación de coordenadas mediante la ecuación3.23:

$$\{Y\} = [\emptyset_N]\{Z\} \quad (3.23)$$

siendo $[\emptyset_N]$ la matriz modal normalizada del sistema.

Reemplazando la ecuación3.23 en la ecuación3.22 resulta:

$$[M][\emptyset_N]\{\ddot{Z}\} + [K][\emptyset_N]\{Z\} = P(t) \quad (3.24)$$

Premultiplicando la ecuación 3.23 por el vector modal normalizado i transpuesto, $\{\emptyset_N\}_i^T$ resultando:

$$\{\emptyset_N\}_i^T [M][\emptyset_N]\{\ddot{Z}\} + \{\emptyset_N\}_i^T [K][\emptyset_N]\{Z\} = \{\emptyset_N\}_i^T \{P(t)\} \quad (3.25)$$

Las condiciones de ortogonalidad entre los modos normalizados se dan en las ecuaciones 3.26,3.27:

$$\{\emptyset_N\}_i^T [M][\emptyset_N] = 1 \quad (3.26)$$

$$\{\emptyset_N\}_i^T [K][\emptyset_N] = w_i^2 \quad (3.27)$$

Por lo tanto la ecuación 3.25 puede ser escrita como:

$$\ddot{Z}_i + W_i^2 Z_i = P_i(t) \quad (3.28)$$

Para $(i = 1, 2, 3, \dots, N)$

donde la fuerza modal $P_i(t)$ esta dada por:

$$P_i(t) = \emptyset_{N1,i} F_1(t) + \emptyset_{N2,i} F_2(t) + \dots + \emptyset_{NN,i} F_N(t) \quad (3.29)$$

Para $(i = 1, 2, 3, \dots, N)$

La ecuación 3.28 representa un conjunto de N ecuaciones independientes del movimiento y esta en términos de las coordenadas modales Z_i . los valores de los coeficientes de estas ecuaciones son obtenidas inmediatamente después que las frecuencias naturales y los modos normalizados son determinados.

3. Vibración Forzada con Amortiguamiento

La ecuación que caracteriza este estado es el siguiente:

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = P(t) \quad (3.30)$$

Para resolver estas ecuaciones diferenciales del movimiento se procede al desacoplamiento. Para esto se introduce la siguiente transformación de coordenadas:

Se hace la transformación de coordenadas mediante la ecuación 3.31:

$$\{Y\} = [\emptyset_N]\{Z\} \quad (3.31)$$

siendo $[\emptyset_N]$ la matriz modal normalizada del sistema.

Reemplazando la ecuación 3.31 en la ecuación 3.30 resulta:

$$[M][\emptyset_N]\{\ddot{Z}\} + [C][\emptyset_N]\{\dot{Z}\} + [K][\emptyset_N]\{Z\} = P(t) \quad (3.32)$$

Premultiplicando la ecuación 3.32 por el vector modal normalizado i transpuesto, $\{\emptyset_N\}_i^T$ resultando:

$$\{\emptyset_N\}_i^T [M][\emptyset_N]\{\ddot{Z}\} + \{\emptyset_N\}_i^T [C][\emptyset_N]\{\dot{Z}\} + \{\emptyset_N\}_i^T [K][\emptyset_N]\{Z\} = \{\emptyset_N\}_i^T \{P(t)\} \quad (3.33)$$

Para $(i = 1, 2, 3, \dots, N)$

Esta ecuación también puede ser escrita como:

$$M_i \ddot{Z}_i + C_i \dot{Z}_i + K_i Z_i = P_i(t) \quad (3.34)$$

Para $(i = 1, 2, 3, \dots, N)$

donde:

$$M_i = \{\emptyset_N\}_i^T [M] \{\emptyset_N\}_i = 1 \quad (3.35)$$

$$M_i = \{\emptyset_N\}_i^T [K] \{\emptyset_N\}_i = w_i^2 M_i \quad (3.36)$$

$$M_i = \{\emptyset_N\}_i^T [C] \{\emptyset_N\}_i = 2\xi w_i M_i \quad (3.37)$$

$$F_i(t) = \{\emptyset_N\}_i^T \{F(t)\} \tag{3.38}$$

Entonces reemplazando las ecuaciones 3.35,3.36,3.37,3.38 en la ecuación3.34 se tiene:

$$\ddot{Z}_i + 2\xi_i w_i \dot{Z}_i + w_i^2 Z_i = F_i(t) \tag{3.39}$$

Para($i = 1, 2, 3, \dots, N$)

Que es un grupo de ecuaciones diferenciales independientes.

La ecuación 3.39 representa un conjunto de N ecuaciones independientes del movimiento y esta en términos de de las coordenadas modales Z_i . los valores de los coeficientes de estas ecuaciones son obtenidas inmediatamente después que las frecuencias naturales y los modos normalizados son determinados. La solución de estas ecuaciones diferenciales desacopladas pueden encontrarse por medio de métodos numéricos tal como: La integral de Duhamel. La que provee una solución general de estas ecuaciones para cualquier función de las fuerzas externas aplicadas a la estructura.

3.2. Sistema Aporticado Espacial con Aisladores.

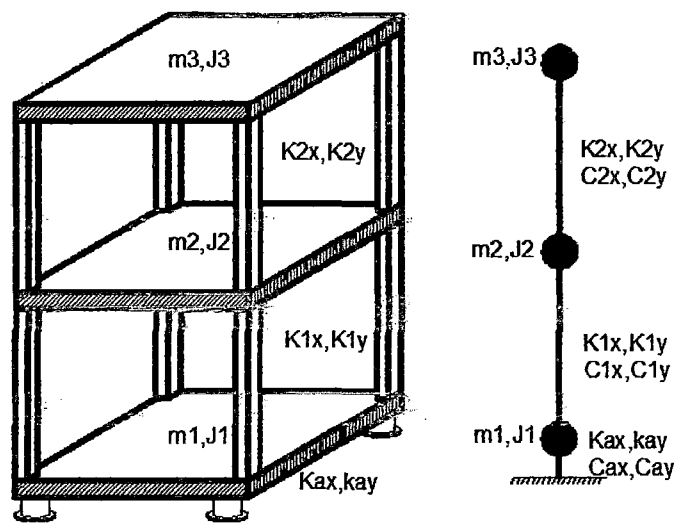


Figura 3.3. Modelamiento de un sistema aporticado espacial con aisladores.

La ecuación que caracteriza este estado es el siguiente:

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = P(t) \quad (3.40)$$

Los grados de libertad de un edificio con las losas de entrepiso rígidas se dan considerando tres grados de libertad por piso, incluyendo la losa encima de los aisladores de base, tal como se muestra en la figura 3.4.

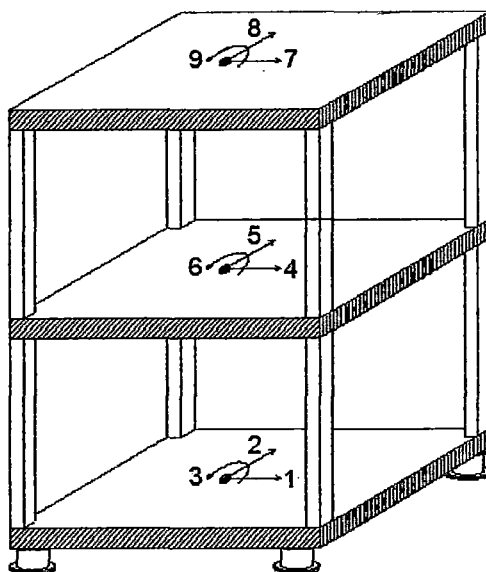


Figura 3.4. Grados de libertad de un sistema aporticado tridimensional.

1. Matriz de rigidez

para el calculo dinámico de este tipo de estructura con aisladores de base se requiere del calculo de la matriz de rigidez total $[K]$ del sistema la cual es elaborada de acuerdo al siguiente procedimiento:

a) Paso 1: Definición de los sistemas resistentes

Los sistemas resistentes son los elementos que colaboran con la rigidez del sistema total, como son las columnas y los aisladores.

Ambas colaboran a la rigidez, los aisladores al primer piso y las columnas al resto de la edificación. Esto tanto en el sentido x como en el sentido y.

En las figura 3.5 se muestra los sistemas resistentes para el ejemplo.

Estos diagramas son necesarios para cada piso.

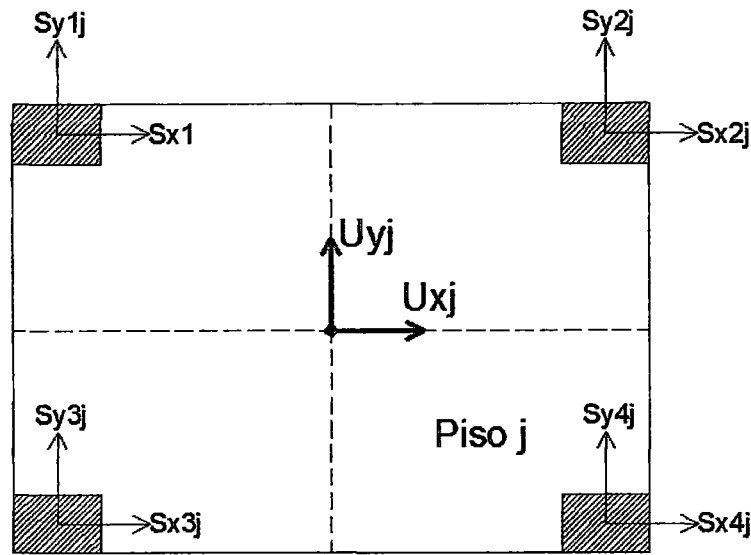


Figura 3.5. Definición de los sistemas resistentes.

b) Paso 2: Datos del sistema

Definiendo:

i : La numeración del elemento resistente (columna)

j : La numeración del piso de análisis

m : Numero de elementos resistentes (columnas)

n : Numero de pisos.

Se obtienen los datos de cada uno de los elementos que colaboran con la rigidez, como son los aisladores y las columnas. Cada columna y aislador tiene una orientación en el sistema de coordenadas de acuerdo a la rigidez que aporta. Ver figuras 3.6 y 3.7

Existen m Aisladores que se encuentran en el primer nivel, y encima de ellas en los siguientes niveles existen m columnas que aportan rigidez al sistema y que se encuentran en la misma dirección de los aisladores.

Para los m aisladores se extraen las rigideces tanto en el sentido x , K_{axi} como en el sentido y , K_{ayi} . También sus coordenadas con respecto al centro de gravedad de la losa Cd_{xi} , Cd_{yi} y el angulo θ_{xi} que es el existente entre la dirección positiva del grado de libertad en el eje x : U_{x1} con la dirección positiva del sistema resistente Sx_i y el angulo θ_{yi} que es el existente entre

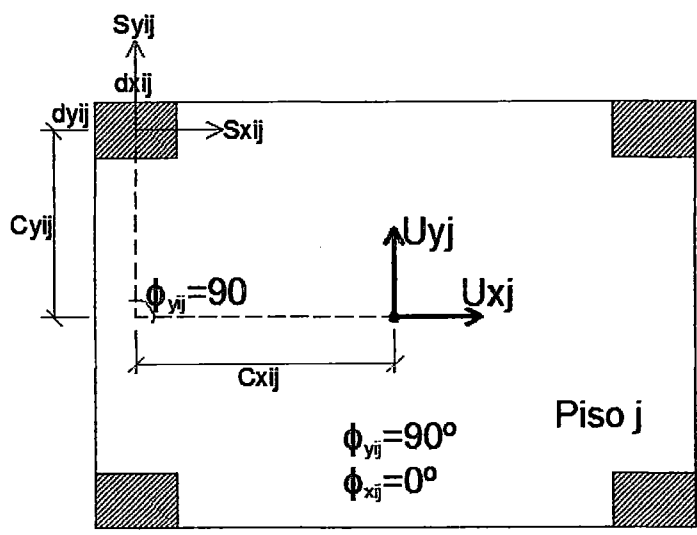


Figura 3.6. Orientación de la columna en el sistema de coordenadas.

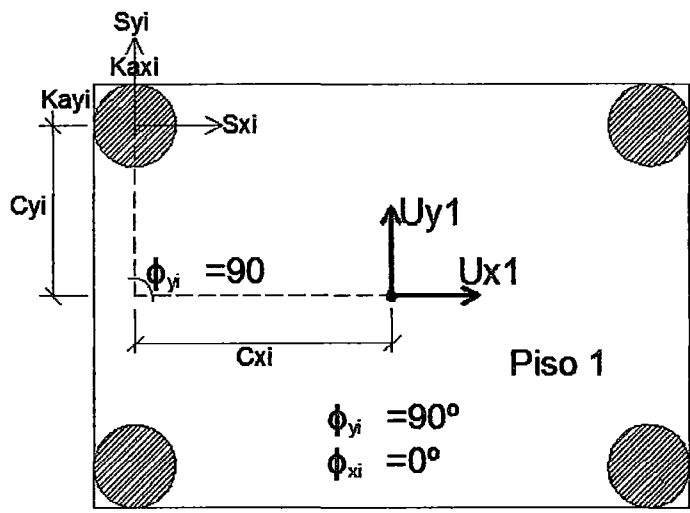


Figura 3.7. Orientación de la columna en el sistema de coordenadas.

la dirección positiva del grado de libertad en el eje x: U_{x1} con la dirección positiva del sistema resistente Sy_i . Así se obtiene un cuadro con dichos datos solo para el piso 1. Ver figura3.7 y Cuadro3.1

Para las m columnas Se extraen las dimensiones tanto en el sentido x, dx_{ij} como en el sentido y, dy_{ij} . También sus coordenadas con respecto al centro de gravedad de la losa Cd_{xij}, Cd_{yij} y el angulo ϕ_{xij} que es el existente entre la dirección positiva del grado de libertad en el eje x: U_{xj}

Tabla 3.1. Datos de los aisladores

Datos de los aisladores						
i	Rigidez x	Rigidez y	Coordenada x	Coordenada y	$\emptyset_{xi}$	$\emptyset_{yi}$
1	K_{ax1}	K_{ay1}	C_{x1}	C_{y1}	$\emptyset_{x1}$	$\emptyset_{y1}$
2	K_{ax2}	K_{ay2}	C_{x2}	C_{y2}	$\emptyset_{x2}$	$\emptyset_{y2}$
...	...	...	...	...	...	...
m	K_{axm}	K_{aym}	C_{xm}	C_{ym}	$\emptyset_{xm}$	$\emptyset_{ym}$

con la dirección positiva del sistema resistente S_{xij} y el angulo $\emptyset_{yij}$ que es el existente entre la dirección positiva del grado de libertad en el eje x: U_{xj} con la dirección positiva del sistema resistente S_{yij} . Así se obtiene un cuadro con dichos datos por cada piso desde el piso 2 hasta el ultimo. Ya que el piso 1 es analizado con las propiedades de los aisladores. Ver figura 3.6 y Cuadro3.2

Tabla 3.2. Datos de las columnas del piso j

Datos de las columnas del piso j						
i	Dimensión x	Dimensión y	Coordenada x	Coordenada y	$\emptyset_{xij}$	$\emptyset_{yij}$
1	dx_{1j}	dy_{1j}	C_{x1j}	C_{y1j}	$\emptyset_{x1j}$	$\emptyset_{y1j}$
2	dx_{2j}	dy_{2j}	C_{x2j}	C_{y2j}	$\emptyset_{x2j}$	$\emptyset_{y2j}$
...	...	...	...	...	...	...
m	dx_{mj}	dy_{mj}	C_{xmj}	C_{ymj}	$\emptyset_{xmj}$	$\emptyset_{ymj}$

c) Paso 3: Elaboración de la matriz de transformación.

Se elabora la matriz de transformación de coordenadas de los elementos resistentes a las coordenadas de los grados de libertad.

Esto es aplicable para todos los elementos resistentes, aisladores y columnas. Para esto se requiere de los siguientes datos de cada elemento resistente: $\emptyset_{xij}$, $\emptyset_{yij}$, r_{ij} , siendo:

i : La numeración del elemento resistente

j : La numeración del piso de análisis

$\emptyset_{xij}$: Es el angulo entre la proyección del sistema resistente S_{xij} y el sentido positivo del grado de libertad U_{xj} , siendo positivo el sentido contrario a la manecillas del reloj. Este dato se encuentra en el Cuadro3.2

$\emptyset_{yij}$: Es el angulo entre la proyección del sistema resistente S_{yij} y el sentido positivo del grado de libertad U_{xj} , siendo positivo el sentido contrario a la manecillas del reloj. Este dato se encuentra en el Cuadro 3.2

r_{ij} : Es la distancia entre la proyección del sistema resistente S_{xij} o S_{yij} hacia el centro de masas del piso j . Tiene signo positivo cuando el giro de la orientación otorgado a el sistema resistente tiene el mismo sentido de el angulo $\emptyset_{xij}$ o $\emptyset_{yij}$, según sea el caso.

Se elabora la matriz de transformación para cada linea de elementos resistentes de acuerdo al siguiente detalle. Ecuaciones 3.41, 3.42 :

$Bsxi =$

$$\begin{bmatrix} \cos(\emptyset_{xi1}) & 0 & 0 & \sin(\emptyset_{xi1}) & 0 & 0 & r_{xi1} & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\emptyset_{xi2}) & 0 & 0 & \sin(\emptyset_{xi2}) & 0 & 0 & r_{xi2} & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\emptyset_{xin}) & 0 & 0 & \sin(\emptyset_{xin}) & 0 & 0 & r_{xin} \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

$Bsyi =$

$$\begin{bmatrix} \cos(\emptyset_{yi1}) & 0 & 0 & \sin(\emptyset_{yi1}) & 0 & 0 & r_{yi1} & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\emptyset_{yi2}) & 0 & 0 & \sin(\emptyset_{yi2}) & 0 & 0 & r_{yi2} & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\emptyset_{yin}) & 0 & 0 & \sin(\emptyset_{yin}) & 0 & 0 & r_{yin} \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

Las matrices $Bsxi$ y $Bsyi$ tienen la dimensión $n \times 3n$ y contienen los datos de la linea i de elementos resistentes de los n pisos. Así la primera fila corresponde a las propiedades del aislador i :

$$\begin{bmatrix} \cos(\emptyset_{yi1}) & 0 & 0 & \sin(\emptyset_{yi1}) & 0 & 0 & r_{yi1} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

Teniendo m lineas de elementos resistentes se procede ha hacer las matrices $Bsyi$ y $Bsxi$ de cada una de ellas

d) *Paso 4: Rigidez de las columnas* Se obtiene la rigidez de cada una de las i columnas de cada uno de los pisos j .

Utilizando las dimensiones d_{xij} y d_{yij} , se calculan las inercias en las direcciones requeridas. Ecuaciones 3.44 y 3.45 :

$$I_{xij} = d_{yij} * \frac{d_{xij}^3}{12} \quad (3.44)$$

$$I_{yij} = d_{xij} * \frac{d_{yij}^3}{12} \quad (3.45)$$

Teniendo como datos el modulo de elasticidad E de los elementos de concreto y la altura de la columna de análisis H_{ij} , las rigideces son calculadas de la siguiente manera. Ecuaciones 3.46 Y 3.47 :

$$K_{xij} = \frac{12 * E * I_{xij}}{H^3} \quad (3.46)$$

$$K_{yij} = \frac{12 * E * I_{yij}}{H^3} \quad (3.47)$$

e) *Paso 5: Matrices de rigidez de cada linea de elementos resistentes*

Se obtiene la matriz de rigidez de cada linea de elementos resistentes tanto en el sentido x como en el sentido y. Cada matriz de rigidez tiene dimensiones $n \times n$.

Para los aisladores, se usan los valores de la rigidez en x y en y del Cuadro3.1.

Se usa la notación estándar de la matriz de rigidez:

$$K_{xi} = \begin{bmatrix} k_{ax1} + k_{xi2} & -k_{xi2} & 0 & \dots & 0 \\ -k_{xi2} & k_{xi2} + k_{xi3} & -k_{xi3} & \dots & 0 \\ 0 & -k_{xi3} & k_{xi3} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -k_{xi(n-1)} \\ 0 & 0 & 0 & -k_{xi(n-1)} & k_{xin} \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

$$K_{yi} = \begin{bmatrix} k_{ay1} + k_{yi2} & -k_{yi2} & 0 & \dots & 0 \\ -k_{yi2} & k_{yi2} + k_{yi3} & -k_{yi3} & \dots & 0 \\ 0 & -k_{yi3} & k_{yi3} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -k_{yi(n-1)} \\ 0 & 0 & 0 & -k_{yi(n-1)} & k_{yin} \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

Donde K_{ax1} y K_{ay1} son las rigideces en la dirección x e y respectivamente del aislador i

f) Paso 6: Transformación de la matriz de rigidez

Se obtiene la matriz de rigidez transformada de cada línea de elementos resistentes tanto en el sentido x como en el sentido y con el uso de las ecuaciones 3.50 y 3.51

$$[K_{xi}^*] = [B_{sxi}^T] * [K_{xi}] * [B_{sxi}] \quad (3.50)$$

$$[K_{yi}^*] = [B_{syi}^T] * [K_{yi}] * [B_{syi}] \quad (3.51)$$

g) Paso 7: Obtención de la matriz de rigidez total del sistema

La matriz de rigidez total del sistema esta dada por la suma de todas las matrices transformadas tanto en el eje x como en el eje y . Ecuación 3.52:

$$[KT] = [K_{x1}^*] + [K_{x2}^*] + \dots + [K_{xm}^*] + [K_{y1}^*] + [K_{y2}^*] + \dots + [K_{ym}^*] \quad (3.52)$$

2. Matriz de masas

La matriz de masas es elaborada con el acoplado de las siguientes matrices:

$$Mx = \begin{bmatrix} m_{x1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_{x2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{xn} \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

$$My = \begin{bmatrix} m_{y1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_{y2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{yn} \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & J_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_n \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

Donde:

$m_{xi} = m_{yi}$ = masa de entrepiso

y J es la matriz de los momentos polares de inercia de cada losa. Para las rectangulares el valor J_i se encuentra con el uso de la ecuación 3.56:

$$J_i = \frac{m * (lx^2 + ly^2)}{12} \quad (3.56)$$

donde:

lx : Dimensión en el sentido x de la losa

ly : Dimensión en el sentido y de la losa

Entonces la matriz $[M]$ resulta del acoplamiento de las matrices $[M_x]$, $[M_y]$ y $[J]$ como se muestra en la ecuación 3.57:

$$J = \begin{bmatrix} [M_x] & 0 & 0 \\ 0 & [M_y] & 0 \\ 0 & 0 & [J] \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

3. Matriz de amortiguamiento

La matriz de amortiguamiento se obtiene por el método de Wilson y Penzien el cual en resumen establece que la matriz de amortiguamiento se obtiene por la ecuación 3.58:

$$[C] = [\emptyset^{-1}]^T [A] [\emptyset^{-1}] \quad (3.58)$$

Donde:

$[\emptyset]$: Es la matriz de modal normalizada.

$[A]$: Es la matriz definida de acuerdo al siguiente detalle:

$$[A] = \begin{bmatrix} 2\xi_1 w_1 M_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2\xi_2 w_2 M_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\xi_n w_n M_n \end{bmatrix} \quad (3.59)$$

Donde:

ξ_i : Es el porcentaje de amortiguamiento por nivel, se expresa en decimales (10 %=0.1).

w_i : Es la frecuencia del modo i .

$M_1 = M_2 = M_3 = \dots = M_n = 1$ Se denominan masas modales y son equivalentes a la unidad.

Una vez establecido los valores de las matrices: $[K]$, $[M]$ y $[C]$ se procede a hacer el calculo de la respuesta dinámica del sistema. Ecuación 3.40:

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = P(t) \quad (3.60)$$

por el método de la superposición modal explicada en la sección 2.2.1

Capítulo 4

Normas de Diseño de Edificaciones con Aislamiento Sísmico

4.1. Uniform Building Code (UBC-1997)

1. Niveles de movimiento sísmico

Se tienen dos niveles sísmicos para el diseño del sistema de aislamiento [14]:

a) Nivel sísmico de diseño (SDI)

Este nivel de diseño corresponde al nivel del movimiento sísmico del suelo con una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años.

Este nivel de diseño es el mismo utilizado en la norma peruana E-030, en la identificación de las zonas, donde el factor Z representa a la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años.

b) Nivel sísmico máximo posible (SMP)

Este nivel de diseño corresponde al nivel del movimiento sísmico del suelo con una probabilidad de excedencia del 10 % en 100 años. Y representa el nivel de movimiento máximo del suelo.

2. Parámetros previos de diseño

La norma UBC-1997, establece los siguientes parámetros previos de diseño:

a) Zonificación sísmica

Se distinguen cinco zonas sísmicas:1, 2A, 2B,3 y 4. De acuerdo a ellas se establecen los siguientes factores. Ver cuadro 4.1:

Tabla 4.1. Zonificación sísmica

Factor de zona sísmica					
Zona	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

b) Factores de cercanía a fuente sísmica

Se establecen dos tipos de factores de cercanía a fuentes sísmicas N_a y N_v . Ver cuadro 4.2 y 4.3 :

Tabla 4.2. Factor de cercanía a fuente sísmica N_a

Factor N_a			
Tipo de fuente	$d \leq 2Km$	$d = 5Km$	$d \geq 10km$
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Tabla 4.3. Factor de cercanía a fuente sísmica N_v

Factor N_v				
Tipo de fuente	$d \leq 2Km$	$d = 5Km$	$d = 10km$	$d \geq 15km$
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

El tipo de fuente sísmica esta en función a la magnitud de momentos máximo y el desplazamiento de la falla en mm/año.

c) Tipo de Suelo

Se definen cinco tipos de suelo: S_A, S_B, S_C, S_D y S_E .

De acuerdo a ellas se establecen los factores C_{VD} y C_{VM} los cuales estan relacionadas con el factor M_M . Ver los cuadros 4.4,4.5 y 4.6.

Tabla 4.4. Factores C_{VD} de acuerdo al tipo de suelo y zona sísmica

Factores C_{VD}					
Suelo	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0,32N_V$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0,40N_V$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$0,56N_V$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$0,64N_V$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0,96N_V$

Para el tipo de suelo S_F es necesario hacer una investigación geotecnica del sitio y el análisis dinámico de respuesta para determinar los coeficientes sísmicos.

Tabla 4.5. Factores C_{VM} de acuerdo al tipo de suelo y $M_M ZN_V$

Factores C_{VM}					
Suelo	$M_M ZN_V = 0,075$	$M_M ZN_V = 0,15$	$M_M ZN_V = 0,20$	$M_M ZN_V = 0,30$	$M_M ZN_V = 0,40$
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0,80M_M ZN_V$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$1,0M_M ZN_V$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$1,4M_M ZN_V$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$1,6M_M ZN_V$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$2,4M_M ZN_V$

Tabla 4.6. Coeficiente de máxima capacidad de respuesta M_M

Factor M_M	
Valor ZN_V	M_M
0.075	2.67
0.15	2.0
0.20	1.75
0.30	1.50
0.40	1.25
$\geq 0,50$	1.20

d) *Importancia de la edificación*

El factor I es equivalente al factor U del reglamento peruano. Este valor

es igual a la unidad pues se considera que se tiene la certeza sobre el nivel de demanda impuesto a la estructura. Además el objetivo del diseño del sistema de aislamiento es lograr siempre la funcionalidad de la estructura después de un sismo, siendo innecesario poner diferencias por el tipo de uso.

3. Análisis Estático

a) *Condiciones de uso*

El análisis estático lateral equivalente se puede utilizar para el diseño de una estructura con aislación sísmica siempre que:

- 1) La estructura este ubicada a mas de 10 Km de todas las fallas activas.
- 2) La estructura este ubicada en un tipo de suelo tipo S_A, S_B, S_C o S_D .
- 3) La estructura por encima de la interfaz de aislamiento es igual o menor de cuatro pisos o 19.8 m en altura.
- 4) El periodo efectivo de la estructura aislada, T_M , sea menor o igual a 3.0 s.
- 5) El periodo efectivo de la estructura aislada, T_d , sea mayor que tres veces el periodo elástico de base fija de la superestructura.
- 6) La superestructura tenga una configuración regular.

b) *Desplazamientos laterales mínimos*

El UBC-1997 establece que el sistema de aislación debe ser diseñado considerando niveles de desplazamientos mínimos que sera aplicable a los dos ejes principales de la estructura, ellos son: Desplazamiento de diseño, desplazamiento máximo y el desplazamiento total.

1) *Desplazamiento de diseño*

Es calculado con la ecuación 4.1:

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \quad (4.1)$$

Donde:

C_{VD} : Es el coeficiente sísmico descrito en el cuadro 4.4.

T_D : Es el periodo efectivo del sistema de aislamiento correspondiente al desplazamiento de diseño. ecuación 4.2

$$T_D = 2 * \pi * \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin}g}} \tag{4.2}$$

Donde:

- W: Es el peso total de la estructura sobre el sistema de aislamiento.
- K_{Dmin} : Es la rigidez efectiva mínima del sistema de aislación debido al desplazamiento de diseño en la dirección horizontal considerada.

B_D : Es el coeficiente de reducción de respuesta por amortiguamiento dado por el sistema de aislación sísmica y se obtiene del cuadro 4.7.

Tabla 4.7. Factor de reducción por amortiguamiento

Factor de reducción por amortiguamiento	
% Amortiguamiento efectivo	Factor B_D o B_M
≤ 2	0.65
5	1.00
10	1.37
15	1.67
20	1.94
25	2.17
30	2.38
≥ 50	3.02

2) Desplazamiento máximo

Es calculado con la ecuación 4.3:

$$D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VM} T_M}{B_M} \tag{4.3}$$

Donde:

C_{VM} : Es el coeficiente sísmico de desplazamiento, descrito en el cuadro 4.5.

T_M : Es el periodo efectivo del sistema de aislamiento correspondiente al desplazamiento máximo. ecuación 4.4

$$T_M = 2 * \pi * \sqrt{\frac{W}{K_{Mming}}} \quad (4.4)$$

Donde:

- W: Es el peso total de la estructura sobre el sistema de aislamiento.
- K_{Mmin} : Es la rigidez efectiva mínima del sistema de aislamiento debido al desplazamiento máximo en la dirección horizontal considerada.

B_M : Es el coeficiente de reducción de respuesta por amortiguamiento, se obtiene del cuadro 4.7.

3) *Desplazamiento total*

Se evalúan dos tipos de desplazamiento: el desplazamiento de diseño total y el desplazamiento máximo total. Ambos consideran los desplazamientos adicionales debido a la torsión natural y accidental. Se calculan de acuerdo a las ecuaciones 4.5 y 4.6:

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (4.5)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (4.6)$$

también se puede usar las siguientes ecuaciones como valores mínimos:

$$D_{TD} = 1,1 * D_D \quad (4.7)$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M \quad (4.8)$$

c) *Fuerzas laterales mínimas*

Las fuerzas laterales mínimas son aplicadas en dos zonas bien diferenciadas:

- 1) *En el sistema de aislamiento y todos los elementos estructurales por debajo de ella:*

La fuerza lateral para esta zona del modelamiento esta dada por la ecuación 4.9:

$$V_b = K_{Dmax} * D_D \quad (4.9)$$

En la norma UBC-1997 para el diseño sísmico de estructuras convencionales se usa un factor de reducción R_I que depende del tipo de sistema estructural resistente que se usa. Equivalente a ello en la norma peruana E. 030 también se tiene el mismo tipo de factor de reducción.

Ambas normas aplican para el método estático en la obtención del cortante basal la reducción de esta por el factor R_I .

Sin embargo ,según la norma UBC-1997, para el modelamiento del sistema de aislación y las estructuras por debajo de ellas no se usa el factor R_I . Debido a lo importante que es garantizar la estabilidad de la subestructura para un desempeño adecuado del sistema de aislación.

2) *En los elementos estructurales por encima del sistema de aislación.*

La fuerza lateral para esta zona del modelamiento esta dada por la ecuación 4.10:

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R_I} \quad (4.10)$$

En este caso para el diseño de la superestructura se aplica el factor de reducción R_I . Cuyos valores tienen como máximo valor: 2.0. Esta limitación se da para asegurar el comportamiento elástico de la superestructura.

El valor de V_s no debe ser menor que:

- la fuerza lateral sísmica para una estructura de base fija del mismo peso W , y un periodo igual al de la estructura aislada T_D .
- El corte basal por efectos de viento.
- La fuerza necesaria para activar la fluencia del sistema de aislación mayorada por 1.5 veces.

d) *Proceso de distribución de fuerza en vertical*

La distribución de la fuerza de corte basal se distribuye horizontalmente sobre el centro de masa de cada una de las losas por encima del sistema de aislación. La formula a usar es la siguiente. Ecuación4.11 :

$$F_i = \frac{V_S w_i h_i}{\sum_{i=1}^n (w_i * h_i)} \tag{4.11}$$

donde w_i son pesos en los niveles i y h_i son las respectivas alturas de las estructura por encima del nivel aislado.

e) **Limite de desplazamiento de entrepiso**

La deriva máxima de los pisos por encima del sistema de aislación es de $0,01/R_I$.

4. **Análisis Dinámico**

El análisis dinámico de cstructuras con aislamiento sísmico tiene algunas condiciones como son:

■ *Para el sistema de aislación y elementos de la subestructura:*

- El D_{TD} no debe de ser menor que el 90 % de D_{TD} del análisis estático.
- El D_{TM} no debe de ser menor que el 80 % de D_{TM} del análisis estático.
- El V_b no debe de ser menor que el 90 % de V_b del análisis estático.
- Alternativamente se puede usar para los valores D_D Y D_M las siguientes ecuaciones. Ecuación4.12 y Ecuación4.13:

$$D_{D'} = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \tag{4.12}$$

$$D_{M'} = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \tag{4.13}$$

Donde T es el periodo de la estructura con la base fija y comportamiento elástico.

■ *Para los elementos de la superestructura:*

- Para superestructuras regulares, el V_S no debe ser menor que el 80 % de V_S del análisis estático.En particular para el análisis de respuesta en el tiempo puede llegar hasta el 60 % de V_S del análisis estático.

- Para superestructuras irregulares, el V_S no debe ser menor que el 100 % de V_S del análisis estático. En particular para el análisis de respuesta en el tiempo puede llegar hasta el 80 % de V_S del análisis estático.

Existen algunas restricciones adicionales al uso del análisis dinámico:

- Teniendo el resultado del esfuerzo de corte en la superestructura, si este valor es menor que el valor mínimo establecido en el análisis estático se procede a escalar proporcionalmente los resultados de acuerdo al factor que resulta de la división de estos valores.
- Las derivas en los pisos de la superestructura no debe exceder a $0,015/R_I$ para el caso del análisis espectral y a $0,020/R_I$ en el caso del análisis de respuesta en el tiempo.
- Si las derivas de los pisos de la superestructura exceden de $0,010/R_I$ se deberá proceder a un análisis de segundo orden.
- La separación mínima de un sistema de aislación con un elemento fijo no deben de ser menores que el D_{TM} .
- Cuando las fuerzas de viento indicadas en UBC-1997, produzcan deformaciones o esfuerzos mayores, dichas cargas se deben utilizar para el diseño en lugar de las deformaciones y esfuerzos resultantes de las fuerzas sísmicas.

El reglamento UBC-1997 especifica tres tipos de análisis dinámico:

a) Análisis espectral.

La norma UBC-1997 utiliza factores extraídos del procesamiento de datos propios de la realidad en los Estados Unidos. Estos datos están en función del tipo de suelo y de la zona donde se ubica el análisis. Este método es aplicable cuando:

- El punto de análisis esta a mas de 10 Km de una falla.
- El suelo es de tipo S_A, S_B, S_C, S_D .
- El periodo aislado T_M es menor a 3 segundos.

Se obtiene dos tipos de espectro:

▪ *Espectro para el sismo de diseño*

Este espectro es construido para el sismo de diseño y no debe de ser menor al 80 % del espectro de diseño del reglamento UBC-1997 en el capitulo 16 donde se tomara los valores $C_a = C_{AD}$ y $C_v = C_{VD}$.

▪ *Espectro para el sismo máximo posible*

Este espectro es construido para el sismo máximo posible y no debe de ser menor al 80 % del espectro de diseño del reglamento UBC-1997 en el capitulo 16 donde se tomara los valores $C_a = C_{AM}$ y $C_v = C_{VM}$.

Este espectro es usado para calcular: el desplazamiento total máximo y las fuerzas para diseñar y ensayar el sistema de aislación.

La razón de amortiguamiento de los modos de vibración de la interfaz de aislación es mayor a la razón de amortiguamiento de los modos de vibración de la superestructura. Por ello el espectro de diseño utilizado no debería ser hecho para una sola razón de amortiguamiento.

Si no se debe reducir el espectro en la región correspondiente a los períodos de los tres primeros modos, que conciernen a desplazamientos básicamente de los aisladores, dividiendo las ordenadas espectrales entre B_D del cuadro 4.3.

El valor del factor de amortiguamiento B_D para reducir el espectro de diseño no debe ser mayor al correspondiente de $\beta_D = 30\%$.

Para determinar el D_{TD} y el D_{TM} , el análisis sobre los espectros de diseño debe incluir la acción simultanea del 100 % de la excitación en la dirección de análisis mas el 30 % de la excitación en la dirección ortogonal. Y el desplazamiento máximo se obtiene de la suma vectorial de dichos desplazamientos.

b) Análisis de respuesta en el tiempo.

Este método puede ser utilizado para cualquier estructura con aislación sísmica. Se requiere por lo menos de tres pares de registros de componentes horizontales. Y el desplazamiento máximo se obtiene de la suma vectorial de los desplazamientos ortogonales para cada instante. La obtención del parámetro de interés se da de acuerdo a la cantidad de pares de registros. Si se cuenta con 3 registros se considera la respuesta máxima del parámetro de interés. Si se cuenta con 7 o mas registros se considera

el valor promedio del parámetro de interés.

c) Espectro de diseño específico del lugar.

Este método es aplicable cuando:

- El punto de análisis esta a menos de 10 Km de una falla.
- El suelo es de tipo S_E y S_F
- El periodo T_M es mayor a 3 segundos.

Se debe seleccionar por lo menos tres pares de registros horizontales de aceleración. Estos registros pueden ser reales o artificiales. Los registros artificiales son obtenidos usando registros representativos alejados de la zona de estudio.

Estos registros son escalados a la aceleración máxima de la zona de estudio.

Una vez obtenido los pares de registros horizontales, se debe construir los espectros de pseudoaceleración con un amortiguamiento de $\beta = 0,05$. Estos registros son combinados con el metodo (SRSS). Luego los registros originales deben ser modificados de manera que el promedio de los espectros de respuesta combinados con SRSS para las parejas de registros no sea menor que $(1,3 - 0,1 * 1,3)$ veces el espectro de sismo de diseño para $\beta = 0,05$. Esto es aplicable solo para el rango de periodo de $0.5 T_D$ a $1.25 T_M$.

4.2. Reglamento Chileno NCH 2745 de 2003

Chile es uno de los primeros países en contar con la reglamentación para el uso de aisladores sísmicos en edificaciones. La norma chilena NCH-2745 del 2003 fue elaborada por el instituto nacional de normalización INN. Esta norma contiene la traducción, comentario y adaptación del capítulo 16 de la norma Uniform Building Code del año 1997 (UBC-1997)[7].

1. Filosofía de diseño

La norma chilena NCH-2745 del 2003 establece la siguiente filosofía:

- a) Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos del edificio.
- b) Resistir sismos severos sin que exista:
 - 1) Falla del sistema de aislación.
 - 2) Daño significativo a los elementos estructurales.
 - 3) Daño masivo a elementos no estructurales.

Haciendo que la estructura se comporte frente al sismo en un rango elástico y proteja a los elementos estructurales como no estructurales.

Esta norma establece además dos niveles sísmicos de diseño:

a) Nivel sísmico de diseño (SDI)

Este nivel de diseño corresponde al nivel del movimiento sísmico del suelo con una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años.

Este nivel de diseño es el mismo utilizado en la norma peruana E-030, en la identificación de las zonas, donde el factor Z representa a la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años.

b) Nivel sísmico máximo posible (SMP)

Este nivel de diseño corresponde al nivel del movimiento sísmico del suelo con una probabilidad de excedencia del 10 % en 100 años. Y representa el nivel de movimiento máximo del suelo.

Estos niveles de diseño implican que para estructuras aisladas se debe verificar el desempeño para el SMP en forma analítica y experimental; verificando que soporta tanto las deformaciones como cargas correspondientes al SMP sin falla. Esta metodología es vital ya que si el sistema de aislación se comporta de manera satisfactoria la superestructura permanece prácticamente en el rango elástico, no presentando mayores problemas.

2. Parámetros previos de diseño

La norma chilena NCH2745 del 2003, establece los siguientes parámetros previos de diseño:

a) *Zonificación sísmica*

Se distinguen tres zonas sísmicas: 1, 2 y 3. De acuerdo a ellas se establecen los siguientes factores. Ver cuadro 4.8:

Tabla 4.8. Zonificación sísmica de reglamento chileno

Zona sísmica	
Zona	Factor Z
1	3/4
2	1
3	5/4

b) *Tipo de Suelo*

Se definen tres tipos de suelo: I, II y III. De acuerdo a ellas se establecen los factores en el cuadro 4.9. Se establece además el factor *MM* que es el factor de amplificación para el sismo máximo probable (SMP), equivalente a $MM = 1,20$

Tabla 4.9. Tipo de suelo de reglamento chileno

Tipo de suelo		
Suelo	Factor CD	Factor $CM = CD * MM$
I	$200Z$	$240Z$
II	$300Z$	$360Z$
III	$330Z$	$396Z$

c) *Importancia de la edificación*

El factor I es equivalente al factor U del reglamento peruano. Este valor es igual a la unidad pues se considera que se tiene la certeza sobre el nivel de demanda impuesto a la estructura. Además el objetivo del diseño del sistema de aislamiento es lograr siempre la funcionalidad de la estructura después de un sismo, siendo innecesario poner diferencias por el tipo de uso.

3. Análisis Estático

a) *Condiciones de uso*

El análisis estático lateral equivalente se puede utilizar para el diseño de una estructura con aislación sísmica siempre que:

- 1) La estructura este ubicada a mas de 10 Km de todas las fallas activas.
- 2) La estructura este ubicada en un tipo de suelo tipo I o II.
- 3) La estructura tenga menos de 5 pisos y una altura menor de 20 m.
- 4) El periodo efectivo de la estructura aislada, T_M , sea menor o igual a 3.0 s.
- 5) El periodo efectivo de la estructura aislada, T_d , sea mayor que tres veces el periodo elástico de base fija de la superestructura, y no menor que 2.0 s.
- 6) La superestructura tenga una configuración regular.

b) Desplazamientos laterales mínimos

El reglamento chileno establece que el sistema de aislación debe ser diseñado considerando niveles de desplazamientos mínimos que sera aplicable a los dos ejes principales de la estructura, ellos son: Desplazamiento de diseño, desplazamiento máximo y el desplazamiento total.

1) Desplazamiento de diseño

Es calculado con la ecuación 4.14:

$$D_D = \frac{C_D}{B_D} \quad (4.14)$$

Donde

C_D : Es el coeficiente sísmico de desplazamiento, descrito en el cuadro 4.9.

B_D : Es el coeficiente de reducción de respuesta por amortiguamiento dado por el sistema de aislación sísmica. Este factor es el mismo usado por el código UBC-1997 y se obtiene del cuadro 4.10. Alternativamente la norma chilena establece su propia formulación para obtener el valor de B_D .

2) Desplazamiento máximo

Es calculado con la ecuación 4.15:

$$D_M = \frac{C_M}{B_M} \quad (4.15)$$

Tabla 4.10. Factor de reducción por amortiguamiento

Factor de reducción por amortiguamiento	
% Amortiguamiento efectivo	Factor B_D o B_M
≤ 2	0.65
5	1.00
10	1.37
15	1.67
20	1.94
25	2.17
30	2.38
≥ 50	3.02

Donde

C_M : Es el coeficiente sísmico de desplazamiento, descrito en el cuadro 4.9.

B_M : Es el coeficiente de reducción de respuesta por amortiguamiento, se obtiene del cuadro 4.10. Alternativamente la norma chilena establece su propia formulación para obtener el valor de B_M .

3) *Desplazamiento total*

Se evalúan dos tipos de desplazamiento: el desplazamiento de diseño total y el desplazamiento máximo total. Ambos consideran los desplazamientos adicionales debido a la torsión natural y accidental. Se calculan de acuerdo a las ecuaciones 4.16 y 4.17:

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \tag{4.16}$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \tag{4.17}$$

también se puede usar las siguientes ecuaciones como valores mínimos:

$$D_{TD} = 1,1 * D_D \tag{4.18}$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M \tag{4.19}$$

c) **Fuerzas laterales mínimas**

Las fuerzas laterales mínimas son aplicadas en dos zonas bien diferenciadas:

- 1) *En el sistema de aislación y todos los elementos estructurales por debajo de ella*

La fuerza lateral para esta zona del modelamiento esta dada por la ecuación 4.20:

$$V_b = K_{Dmax} * D_D \tag{4.20}$$

En la norma chilena para el diseño sísmico de estructuras convencionales se usa un factor de reducción R que depende del tipo de sistema estructural que se usa. Equivalente a ello en la norma peruana E 030 también se tiene el mismo tipo de factor de reducción.

Ambas normas aplican para el método estático en la obtención del cortante basal la reducción de esta por el factor R .

Sin embargo ,según la norma chilena, para el modelamiento del sistema de aislación y las estructuras por debajo de ellas no se usa el factor R . Debido a lo importante que es garantizar la estabilidad de la subestructura para un desempeño adecuado del sistema de aislación.

- 2) *En los elementos estructurales por encima del sistema de aislación.*

La fuerza lateral para esta zona del modelamiento esta dada por la ecuación 4.21:

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R} \tag{4.21}$$

En este caso para el diseño de la superestructura se aplica el factor de reducción R . Cuyos valores tienen como máximo valor: 2.0. Esta limitación se da para asegurar el comportamiento elástico de la superestructura.

El valor de V_s no debe ser menor que:

- la fuerza lateral sísmica para una estructura de base fija del mismo peso W , y un periodo igual al de la estructura aislada T_D
- El corte basal por efectos de viento.
- La fuerza necesaria para activar la fluencia del sistema de aislación mayorada por 1.5 veces

d) *Proceso de distribución de fuerza en vertical*

La distribución de la fuerza de corte basal se distribuye horizontalmente sobre el centro de masa de cada una de las losas por encima del sistema de aislación. La formula a usar es la siguiente. Ecuación 4.22 :

$$F_i = \frac{V_S w_i h_i}{\sum_{i=1}^n (w_i * h_i)} \quad (4.22)$$

donde w_i son pesos en los niveles i y h_i son las respectivas alturas de las estructura por encima del nivel aislado.

e) *Limite de desplazamiento de entrepiso*

La deriva máxima de los pisos por encima del sistema de aislación es de 0.002.

4. Análisis Dinámico

El análisis dinámico de estructuras con aislamiento sísmico tiene algunas condiciones como son:

- *Para el sistema de aislación y elemento de la subestructura:*
 - El D_{TD} no debe de ser menor que el 90 % de D_{TD} del análisis estático.
 - El D_{TM} no debe de ser menor que el 80 % de D_{TM} del análisis estático.
 - El V_b no debe de ser menor que el 90 % de V_b del análisis estático.
 - Alternativamente se puede usar para los valores D_D Y D_M las siguientes ecuaciones. Ecuación 4.23 y Ecuación 4.24:

$$D_{D'} = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \quad (4.23)$$

$$D_{M'} = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \quad (4.24)$$

Donde T es el periodo de la estructura con la base fija y comportamiento elástico

■ *Para los elementos de la superestructura:*

- Para superestructuras regulares, el V_S no debe ser menor que el 80 % de V_S del análisis estático. En particular para el análisis de respuesta en el tiempo puede llegar hasta el 60 % de V_S del análisis estático.
- Para superestructuras irregulares, el V_S no debe ser menor que el 100 % de V_S del análisis estático. En particular para el análisis de respuesta en el tiempo puede llegar hasta el 80 % de V_S del análisis estático.

Existen algunas restricciones adicionales al uso del análisis dinámico:

- Teniendo el resultado del esfuerzo de corte en la superestructura, si este valor es menor que el valor mínimo establecido en el análisis estático se procede a escalar proporcionalmente los resultados de acuerdo al factor que resulta de la división de estos valores.
- Las derivas en los pisos de la superestructura no debe exceder a 0.0025 para el caso del análisis espectral y a 0.003 en el caso del análisis de respuesta en el tiempo.
- Si las derivas de los pisos de la superestructura exceden de 0.004 se deberá proceder a un análisis de segundo orden.
- La separación mínima de un sistema de aislación con un elemento fijo no deben de ser menores que el D_{TM} .
- Cuando las fuerzas de viento indicadas en NCH432, produzcan deformaciones o esfuerzos mayores, dichas cargas se deben utilizar para el diseño en lugar de las deformaciones y esfuerzos resultantes de las fuerzas sísmicas.

El reglamento chileno especifica tres tipos de análisis dinámico:

a) **Análisis espectral.**

La norma chilena usa un tipo de espectro de diseño denominado de Newmark-Hall. Que utiliza factores extraídos del procesamiento de datos propios de la realidad chilena. Estos datos están en función del tipo de suelo y de la zona donde se ubica el análisis.

Este método no es aplicable cuando:

- El punto de análisis esta a menos de 10 Km de una falla.
- El suelo es de tipo IV.
- El periodo T_M es mayor a 3 segundos.

Se obtiene dos tipos de espectro:

- *Espectro para el sismo de diseño*

Este espectro es construido para el sismo de diseño y no debe de ser menor al 80 % del espectro de diseño del reglamento NCH-2745.

- *Espectro para el sismo máximo posible*

Este espectro es construido para el sismo máximo posible y no debe de ser menor al 80 % del espectro de diseño del reglamento NCH-2745 amplificado por M_M . Este espectro es usado para calcular: el desplazamiento total máximo y las fuerzas para diseñar y ensayar el sistema de aislación.

La razón de amortiguamiento de los modos de vibración de la interfaz de aislación es mayor a la razón de amortiguamiento de los modos de vibración de la superestructura. Por ello el espectro de diseño utilizado no debería ser hecho para una sola razón de amortiguamiento.

Si no se debe reducir el espectro en la región correspondiente a los períodos de los tres primeros modos, que conciernen a desplazamientos básicamente de los aisladores, dividiendo las ordenadas espectrales entre B_D del cuadro 4.10.

El valor del factor de amortiguamiento B_D para reducir el espectro de diseño no debe ser mayor al correspondiente de $\beta_D = 30\%$.

Para determinar el D_{TD} y el D_{TM} , el análisis sobre los espectros de diseño debe incluir la acción simultanea del 100 % de la excitación en la dirección de análisis mas el 30 % de la excitación en la dirección ortogonal.

Y el desplazamiento máximo se obtiene de la suma vectorial de dichos desplazamientos.

b) Análisis de respuesta en el tiempo.

Este método puede ser utilizado para cualquier estructura con aislación sísmica. Se requiere por lo menos de tres pares de registros de componentes horizontales. Y el desplazamiento máximo se obtiene de la suma vectorial de los desplazamientos ortogonales para cada instante. La obtención del parámetro de interés se da de acuerdo a la cantidad de pares de registros. Si se cuenta con 3 registros se considera la respuesta máxima del parámetro de interés. Si se cuenta con 7 o mas registros se considera el valor promedio del parámetro de interés.

c) Espectro de diseño específico del lugar.

Este método es aplicable cuando:

- El punto de análisis esta a menos de 10 Km de una falla.
- El suelo es de tipo IV.
- El periodo T_M es mayor a 3 segundos.

Se debe seleccionar por lo menos tres pares de registros horizontales de aceleración. Estos registros pueden ser reales o artificiales. Los registros artificiales son obtenidos usando registros representativos alejados de la zona de estudio.

Estos registros son escalados a la aceleración máxima de la zona de estudio.

Una vez obtenido los pares de registros horizontales, se debe construir los espectros de pseudoaceleración con un amortiguamiento de $\beta = 0,05$. Estos registros deben ser combinados con el método (SRSS). Luego los registros originales deben ser modificados de manera que el promedio de los espectros de respuesta combinados con SRSS para las parejas de registros no sea menor que $1,17 * (1,3 - 0,1 * 1,3)$ veces el espectro de sismo de diseño para $\beta = 0,05$. Esto es aplicable solo para el rango de periodo de $0.5 T_D$ a $1.25 T_M$.

En el anexo A se muestra la ubicación web del reglamento NCH-2745 para aislación sísmica.

4.3. Reglamento ASCE/SEI 7-10

1. Parámetros previos de diseño

La norma ASCE/SEI 7-10, establece los siguientes parámetros previos de diseño [21]:

a) *Tipo de Suelo*

Se definen cinco tipos de suelo: *A, B, C, D, E y F*.

De acuerdo a ellas se establecen los factores de amplificación sísmica F_a y F_v los cuales son obtenidos por medio de las tablas 4.11 y 4.12:

Tabla 4.11. Factores F_a de acuerdo al tipo de suelo y la aceleración espectral

Factores F_a					
Suelo	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S \geq 1,25$
<i>A</i>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<i>B</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>C</i>	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
<i>D</i>	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
<i>E</i>	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

Tabla 4.12. Factores F_v de acuerdo al tipo de suelo y la aceleración espectral

Factores F_v					
Suelo	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
<i>A</i>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<i>B</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>C</i>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
<i>D</i>	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
<i>E</i>	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

Para el tipo de suelo *F* es necesario hacer una investigación geotécnica del sitio y el análisis dinámico de respuesta para determinar los coeficientes sísmicos.

b) *Importancia de la edificación*

El factor I de importancia de la edificación es igual a la unidad. Esta es equivalente al factor U en el reglamento E-030 del reglamento nacional de edificaciones peruano

c) *Combinación de carga*

Se define dos tipos de combinaciones de carga los cuales servirán para verificar la estabilidad vertical del sistema de aislamiento y el diseño de los elementos de la superestructura.

■ Combinación 1:

Con la cual se obtiene la carga máxima vertical

$$C_1 = 1,2M + 1,0S + 1,0V + 0,2E \tag{4.25}$$

■ Combinación 2:

Con la cual se obtiene la carga mínima vertical

$$C_2 = (0,9 - 0,2S_{MS})M + \rho S \tag{4.26}$$

donde:

$\rho = 1,3$, M es la carga muerta, V es la carga viva , S es la carga sísmica y E es la carga por hielo

d) *Carga de estabilidad vertical*

Cada elemento del sistema de aislamiento es diseñado para ser estable bajo la carga vertical de diseño. Donde es sometido a un desplazamiento horizontal igual al desplazamiento total máximo. La carga vertical de diseño se puede obtener por las ecuaciones 4.25 y 4.26, donde la carga sísmica S es del nivel del máximo sismo considerado (MCE).

2. Análisis Estático

a) *Condiciones de uso*

Se establecen las siguientes condiciones para el uso del método estático:

- 1) La estructura se encuentra en un sitio con una aceleración tipo $S1$ menor a 0,60 g.
- 2) La estructura este ubicada en un tipo de suelo tipo A, B, C o D .
- 3) La estructura por encima de la interfaz de aislamiento es igual o menor de cuatro pisos o 19.8 m en altura.

- 4) El periodo efectivo de la estructura aislada, T_M , sea menor o igual a 3.0 s.
- 5) El periodo efectivo de la estructura aislada, T_d , sea mayor que tres veces el periodo elástico de base fija de la superestructura.
- 6) La superestructura tenga una configuración regular.

b) *Aceleración espectral de diseño*

Para el calculo de los desplazamientos laterales mínimos es necesario el calculo de la aceleración espectral de diseño S_{DS} y S_{D1} . Correspondiente a los periodos de 0.2 s y 1.0 s respectivamente, con una probabilidad de excedencia de 2 % en 50 años. Este corresponde a un periodo de retorno de 2475 años con el sismo denominado EXTREMADAMENTE RARO. La aceleración del máximo sismo considerado (MCE) se obtiene de las ecuaciones 4.27 y 4.28 :

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (4.27)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (4.28)$$

Donde:

S_{MS} : Es la aceleración máxima posible para un periodo de 0.2 segundos.

S_{M1} : Es la aceleración máxima posible para un periodo de 1.0 segundos.

F_a : Es el factor de amplificación por tipo de terreno para periodo de 0.2 segundos. Se obtiene de la tabla 4.11

F_v : Es el factor de amplificación por tipo de terreno para periodo de 1.0 segundo. Se obtiene de la tabla 4.12

S_S : Valor de aceleración espectral máxima para un periodo de 0.2 segundos. Es obtenida con el uso de mapas de aceleraciones zonificadas.

S_1 : Valor de aceleración espectral máxima para un periodo de 1.0 segundo. Es obtenida con el uso de mapas de aceleraciones zonificadas.

Luego se calcula las aceleraciones espectrales correspondiente al sismo de diseño (DCE) S_{DS} y S_{D1} con el uso de las ecuaciones 4.29 y 4.30:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (4.29)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (4.30)$$

c) *Desplazamientos laterales mínimos*

El reglamento ASCE/SEI 7-10 establece que el sistema de aislación debe ser diseñado considerando niveles de desplazamientos mínimos que sera aplicable a los dos ejes principales de la estructura, ellos son:Desplazamiento de diseño, desplazamiento máximo y el desplazamiento total.

1) *Desplazamiento de diseño*

Es calculado con la ecuación 4.31:

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (4.31)$$

Donde:

g : Es el valor de la gravedad.

S_{D1} : Es la aceleración de diseño para un periodo de 1.0 segundo se obtiene de la ecuación4.30.

T_D : Es el periodo efectivo del sistema de aislamiento correspondiente al desplazamiento de diseño.Ecuación4.32

$$T_D = 2 * \pi * \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin}g}} \quad (4.32)$$

Donde:

- W : Es el peso total de la estructura sobre el sistema de aislamiento.
- K_{Dmin} : Es la rigidez efectiva mínima del sistema de aislación debido al desplazamiento de diseño en la dirección horizontal considerada.

B_D : Es el coeficiente de reducción de respuesta por amortiguamiento dado por el sistema de aislación sísmica y se obtiene del cuadro 4.13.

2) *Desplazamiento máximo*

Es calculado con la ecuación 4.33:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (4.33)$$

Tabla 4.13. Factor de reducción por amortiguamiento

Factor de reducción por amortiguamiento	
% Amortiguamiento efectivo	Factor B_D o B_M
≤ 2	0.80
5	1.00
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

Donde:

g : Es el valor de la gravedad.

S_{M1} : Es la aceleración espectral máxima posible para un periodo de 1.0 segundo se obtiene de la ecuación 4.28.

T_M : Es el periodo efectivo del sistema de aislamiento correspondiente al desplazamiento máximo. Ecuación 4.34

$$T_M = 2 * \pi * \sqrt{\frac{W}{K_{Mmin}g}} \tag{4.34}$$

Donde:

- W : Es el peso total de la estructura sobre el sistema de aislamiento.
- K_{Mmin} : Es la rigidez efectiva mínima del sistema de aislamiento debido al desplazamiento máximo en la dirección horizontal considerada.

B_M : Es el coeficiente de reducción de respuesta por amortiguamiento dado por el sistema de aislamiento sísmica y se obtiene del cuadro 4.13.

3) *Desplazamiento total*

Se evalúan dos tipos de desplazamiento: el desplazamiento de diseño total y el desplazamiento máximo total. Ambos consideran los desplazamientos adicionales debido a la torsión natural y accidental. Se calculan de acuerdo a las ecuaciones 4.35 y 4.36:

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (4.35)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (4.36)$$

también se puede usar las siguientes ecuaciones como valores mínimos:

$$D_{TD} = 1,1 * D_D \quad (4.37)$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M \quad (4.38)$$

d) Fuerzas laterales mínimas

Las fuerzas laterales mínimas son aplicadas en dos zonas bien diferenciadas:

- 1) *En el sistema de aislación y todos los elementos estructurales por debajo de ella:*

La fuerza lateral para esta zona del modelamiento esta dada por la ecuación 4.39:

$$V_b = K_{Dmax} * D_D \quad (4.39)$$

Donde: K_{Dmax} : Es la rigidez efectiva máxima del sistema de aislación debido al desplazamiento de diseño en la dirección horizontal considerada.

D_D : Es el desplazamiento de diseño calculado con la ecuación 4.31. En la norma del ASCE/SEI 7-10 para el diseño sísmico de estructuras convencionales se usa un factor de reducción R_I que depende del tipo de sistema estructural resistente que se usa. Equivalente a ello en la norma peruana E 030 también se tiene el mismo tipo de factor de reducción.

Ambas normas aplican para el método estático en la obtención del cortante basal la reducción de esta por el factor R_I .

Sin embargo ,según la norma ASCE/SEI 7-10, para el modelamiento del sistema de aislación y las estructuras por debajo de ellas no se

usa el factor R_I . Debido a lo importante que es garantizar la estabilidad de la subestructura para un desempeño adecuado del sistema de aislación.

- 2) *En los elementos estructurales por encima del sistema de aislación.*
La fuerza lateral para esta zona del modelamiento esta dada por la ecuación 4.40:

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R_I} \quad (4.40)$$

Donde: K_{Dmax} : Es la rigidez efectiva máxima del sistema de aislación debido al desplazamiento de diseño en la dirección horizontal considerada.

D_D : Es el desplazamiento de diseño calculado con la ecuación 4.31.
En este caso para el diseño de la superestructura se aplica el factor de reducción R_I . Cuyos valores tienen como máximo valor: 2.0. Esta limitación se da para asegurar el comportamiento clásico de la superestructura.

El valor de V_s no debe ser menor que:

- la fuerza lateral sísmica para una estructura de base fija del mismo peso W , y un periodo igual al de la estructura aislada T_D .
- El corte basal por efectos de viento.
- La fuerza necesaria para activar la fluencia del sistema de aislación mayorada por 1.5 veces.

e) *Proceso de distribución de fuerza en vertical*

La distribución de la fuerza de corte basal se distribuye horizontalmente sobre el centro de masa de cada una de las losas por encima del sistema de aislación. La formula a usar es la siguiente. Ecuación 4.41 :

$$F_i = \frac{V_S w_i h_i}{\sum_{i=1}^n (w_i * h_i)} \quad (4.41)$$

donde w_i son pesos en los niveles i y h_i son las respectivas alturas de las estructura por encima del nivel aislado.

f) *Limite de desplazamiento de entrepiso*

La deriva máxima de los pisos por encima del sistema de aislación es de $0,015h_x$, siendo h_x la altura desde la losa hasta la base del sistema aislado.

3. Análisis Dinámico

El análisis dinámico de estructuras con aislamiento sísmico tiene algunas condiciones como son:

■ Para el sistema de aislación y elementos de la subestructura:

- El D_{TD} no debe de ser menor que el 90 % de D_{TD} del análisis estático.
- El D_{TM} no debe de ser menor que el 80 % de D_{TM} del análisis estático.
- El V_b no debe de ser menor que el 90 % de V_b del análisis estático.
- Alternativamente se puede usar para los valores D_D Y D_M las siguientes ecuaciones. Ecuación4.42 y Ecuación4.43:

$$D_{D'} = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \tag{4.42}$$

$$D_{M'} = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \tag{4.43}$$

Donde T es el periodo de la estructura con la base fija y comportamiento elástico.

■ Para los elementos de la superestructura:

- Para superestructuras regulares, el V_S no debe ser menor que el 80 % de V_S del análisis estático.En particular para el análisis de respuesta en el tiempo puede llegar hasta el 60 % de V_S del análisis estático.
- Para superestructuras irregulares, el V_S no debe ser menor que el 100 % de V_S del análisis estático.En particular para el análisis de respuesta en el tiempo puede llegar hasta el 80 % de V_S del análisis estático.

Existen algunas restricciones adicionales al uso del análisis dinámico:

- Teniendo el resultado del esfuerzo de corte en la superestructura, si este valor es menor que el valor mínimo establecido en el análisis estático se

procede a escalar proporcionalmente los resultados de acuerdo al factor que resulta de la división de estos valores.

- Las derivas en los pisos de la superestructura no debe exceder a $0,015h_x$ para el caso del análisis espectral y a $0,020h_x$ en el caso del análisis de respuesta en el tiempo.
- Si las derivas de los pisos de la superestructura exceden de $0,010h_x$ se deberá proceder a un análisis de segundo orden.
- La separación mínima de un sistema de aislación con un elemento fijo no deben de ser menores que el D_{TM} .

El reglamento ASCE/SEI 7-10 especifica tres tipos de análisis dinámico:

a) Análisis espectral.

La norma ASCE/SEI 7-10 utiliza factores extraídos del procesamiento de datos propios de la realidad en los Estados Unidos. Estos datos están en función del tipo de suelo y de la zona donde se ubica el análisis. Este método es aplicable cuando el suelo es de tipo *A, B, C* o *D*.

Se obtiene dos tipos de espectro: El espectro para el Máximo Sismo Considerado (MCE) y el espectro para el Sismo de Diseño (DCE).

El espectro para el Máximo Sismo Considerado (MCE) no debe ser menor que 1.5 veces el espectro de respuesta para el Sismo de Diseño (DCE).

El valor del factor de amortiguamiento B_D para reducir el espectro de diseño no debe ser mayor al correspondiente de $\beta_D = 30\%$.

Para determinar el D_{TD} y el D_{TM} , el análisis sobre los espectros de diseño debe incluir la acción simultanea del 100% de la excitación en la dirección de análisis mas el 30% de la excitación en la dirección ortogonal. El desplazamiento máximo se obtiene de la suma vectorial de dichos desplazamientos.

b) Análisis de respuesta en el tiempo.

Este método es aplicable para cualquier tipo de estructura aislada en cualquiera de las condiciones existentes.

se deben usar, al menos, tres pares apropiados de registros de componentes horizontales.

Y el desplazamiento máximo se obtiene de la suma vectorial de los desplazamientos ortogonales para cada instante.

En el caso de utilizar 3 pares de registros el mayor de estos 3 valores se toma como el espectro de diseño, en el caso de que se usen 7 o más pares de registros se puede tomar como espectro de diseño el promedio de estos. Este método puede ser utilizado para cualquier estructura con aislación sísmica.

c) Espectro de diseño específico del lugar.

Se debe seleccionar por lo menos tres pares de registros horizontales de aceleración.

Una vez obtenido los pares de registros horizontales, se debe construir los espectros de pseudoaceleración con un amortiguamiento de $\beta = 0,05$.

Cada pareja de espectros son combinados con el método (SRSS).

Luego los espectros originales deben ser modificados de manera que el promedio de los espectros de respuesta combinados con SRSS para las parejas de registros no sea menor que $(1,3 - 0,1 * 1,3)$ veces el espectro de sismo de diseño para $\beta = 0,05$. Esto es aplicable solo para el rango de periodo de $0.5 T_D$ a $1.25 T_M$.

En el anexo A se muestra la dirección web del reglamento ASCE/SEI 7-10 para la aislación sísmica.

Parte III

MATERIALES Y MÉTODOS

Capítulo 5

Norma de Diseño

Sismorresistente E-030

La norma de diseño sismorresistente para edificaciones convencionales de nuestro país establece las siguientes disposiciones [24]:

1. Parámetros previos de diseño.

a) Zona sísmica.

Se distinguen tres zonas sísmicas que dividen todo el territorio peruano según la figura 5.1:

Se asigna a cada zona el factor Z , que significa la aceleración máxima del terreno con una probabilidad del 10 % de ser excedida en 50 años. Este nivel de sismo está identificado como un sismo severo con un periodo de retorno de 475 años. Los factores en el cuadro 5.1.

Tabla 5.1. Factores de Zona

Factor de Zona	
Zona	Z
3	0.40
2	0.3
1	0.15

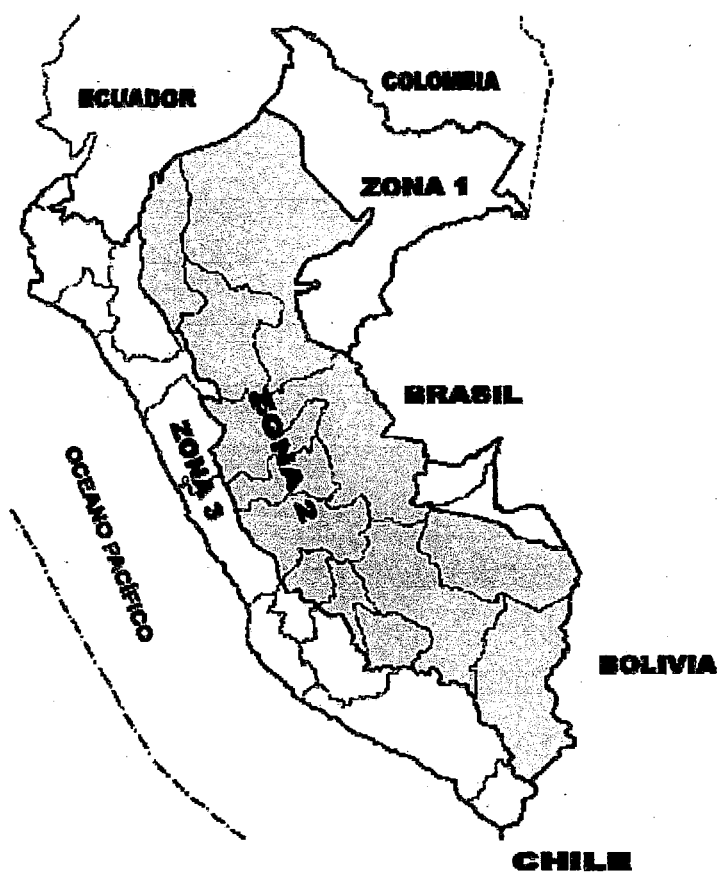


Figura 5.1. Zonificación sísmica reglamento E-030.

b) **Parámetros de suelo.**

De acuerdo a tipo de suelo se obtienen los factores: T_p que es el periodo de movimiento del suelo y S es el factor de amplificación por tipo de suelo. Cuadro 5.2.

Tabla 5.2. Parámetros del suelo

Parámetros del suelo T_p , S			
Tipo	Descripción	$T_p(s)$	S
S_1	Roca o suelos muy rígidos	0.4	1.0
S_2	Suelos intermedios	0.6	1.2
S_3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.9	1.4
S_4	Condiciones excepcionales	*	*

Para el suelo S_4 los factores son establecidos por el especialista.

c) **Factor de amplificación sísmica C .**

Este factor es definido por la ecuación 5.1:

$$C = 2,5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \text{ con } C \leq 2,5 \tag{5.1}$$

d) Categoría de la edificación U

Conocido también como el coeficiente de uso o importancia esta definido por la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Categoría de la edificación

Categoría de la edificación U	
Categoría	Factor U
A	1.5
B	1.3
C	1.0
D	(*)

e) Sistema estructural.

Dependiendo del tipo de sistema estructural resistente se define el factor de reducción R de acuerdo a la tabla 5.4.

f) Peso de la edificación.

El peso de la edificación (P), se calcula adicionando a la carga permanente un porcentaje de la carga viva o sobrecarga de acuerdo a la tabla 5.5.

2. Análisis estático.

a) Fuerza cortante en la base.

La fuerza cortante en la base se determina de acuerdo a la ecuación 5.2

$$V = \left(\frac{ZUCS}{R} \right) P \tag{5.2}$$

Considerando el valor $C/R \geq 0,125$

Estando los factores Z,U,C,S,R y P ya establecidos en los apartados anteriores.

b) Distribución de fuerza sísmica en altura. Se distribuye la fuerza de corte sísmica en altura de acuerdo a la ecuación 5.3.

Tabla 5.4. Sistema estructural

Sistema estructural R		
Material	Sistema estructural	Coefficiente de reducción R
Acero	Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos	9.5
Acero	Arriostres excéntricos	6.5
Acero	Arriostres en cruz	6.0
Concreto Armado	Pórticos	8.0
Concreto Armado	Dual	7.0
Concreto Armado	Muros estructurales	6.0
Concreto Armado	Muros de ductilidad limitada	4.0
Albañilería	Armada o confinada	3.0
Madera	Madera	7.0

Tabla 5.5. Peso adicional de sobrecarga

Peso adicional de sobrecarga	
Tipo edificación	% Incremento sobrecarga
Categoría A,B	50 %
Categoría C	25 %
Depositos	80 %
Azoteas y techos	25 %
Tanques,silos y similares	100 %

$$F_i = \frac{P_i h_i}{\sum_{j=1}^n (P_j * h_j)} (V - F_a)$$

(5.3)

Siendo F_a igual a:

$$F_a = 0,07.T.V \leq 0,15V \quad (5.4)$$

El valor F_a es usado cuando el periodo de la edificación es mayor que 0.7 segundos y es aplicado en la ultima losa de la edificación.

Donde:

F_i : Fuerza aplicada en el centro de masa de la edificación.

P_i, P_j : Pesos de cada losa.

h_i : Altura desde el piso hasta la losa correspondiente.

c) Efectos de torsión.

Aparte de la carga aplicada en el centro de masa de cada losa se considera el efecto de excentricidades accidentales para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel e_i , se considerará como 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la de la acción de las fuerzas. El momento accidental denominado Mt_i se muestra en la ecuación 5.5:

$$Mt_i = \pm F_i e_i \quad (5.5)$$

Considerando las condiciones más desfavorables con las excentricidades accidentales con el mismo signo en todos los niveles.

3. Análisis dinámico.

Se distinguen dos tipos de análisis dinámico: el análisis modal espectral y el análisis tiempo historia.

a) Análisis modal espectral.

1) Aceleración espectral.

En cada una de las direcciones de análisis se usaran el espectro inelástico de pseudoaceleración definido por la ecuación 5.6.

$$S_a = \frac{ZUCS}{R}g \quad (5.6)$$

Donde los factores Z, U, C, S, R han sido definidos en apartados anteriores y g es el valor de la gravedad.

2) Combinación modal

La respuesta máxima esperada para los distintos parámetros (r) obtenidos en el calculo sísmico son obtenidos por dos métodos:

- Combinación método SRSS y absoluta.

Se aplica la siguiente ecuación:

$$r = 0,25 \sum_{i=1}^m |r_i| + 0,75 \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2} \quad (5.7)$$

- Combinación cuadrática completa (CQC)

3) Fuerza cortante mínima

La fuerza cortante resultado del análisis modal espectral no deberá ser menor al 80 % del cortante calculado en el análisis estático para estructuras regulares. La fuerza cortante resultado del análisis modal espectral no deberá ser menor al 90 % del cortante calculado en el análisis estático para estructuras irregulares.

4) Efectos de torsión

Los efectos de torsión se consideran mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo e igual a 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis.

b) Análisis tiempo historia.

Para un análisis tiempo historia se debe suponer un comportamiento lineal y elástico de la estructura.

Deberán utilizarse no menos de cinco pares de registros de aceleraciones horizontales, correspondientes a sismos reales o artificiales.

Estos registros deberán normalizarse de manera que la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio.

Para edificaciones especialmente importantes el análisis dinámico tiempo-historia se efectuará considerando el comportamiento inelástico de los elementos de la estructura.

4. Verificaciones de diseño.

Para las verificaciones correspondientes al diseño se tienen las siguientes:

- verificación por derivas de piso máximas (drift)
- verificación por factores de participación modal
- verificación por efectos de torsión

Capítulo 6

Adaptación del ASCE/SEI 7-10 a los parámetros del RNE-030

El reglamento RNE-030 de diseño sismorresistente de edificaciones establece, como se indico en el apartado 2.6.2, el uso de el reglamento ASCE/SEI 7-10 para el diseño de edificaciones con aisladores sísmicos en establecimientos de salud. Bajo esta premisa se concluye que hasta el momento el uso de aisladores sísmicos en el Perú esta regido por el reglamento ASCE/SEI 7-10.

En este apartado se hará una adaptación del reglamento ASCE/SEI 7-10 hacia los parámetros sísmicos del reglamento peruano E-030.

A su vez en algunos pasajes se harán los comentarios correspondientes a los otros reglamentos.

1. Niveles de movimiento sísmico

En todas las normas se tiene dos niveles sísmicos para el diseño del sistema de aislamiento ver cuadro 6.1.

Se puede concluir ademas que el reglamento ASCE/SEI 7-10 usa un nivel sísmico máximo superior a los del reglamento UBC-1997 y el NCH-2745.

Los periodos de retorno de estos niveles sísmicos se encuentran de acuerdo a

Tabla 6.1. Niveles Sísmicos

Niveles sísmicos			
Reglamento	Sismo Diseño	Sismo Máximo	Relación
UBC-1997	10 % en 50 años	10 % en 100 años	$SMP = 1,2.SDI$
NCH-2745	10 % en 50 años	10 % en 100 años	$SMP = 1,2.SDI$
ASCE/SEI 7-10	10 % en 50 años	2 % en 50 años	$SMP = 1,5.SDI$

la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Niveles Sísmicos

Niveles Sísmicos		
Reglamento	Sismo Diseño	Sismo Máximo
UBC-1997	Severa (PR = 475 años)	Muy severa (PR = 900 años)
NCH-2745	Severa (PR = 475 años)	Muy severa (PR = 900 años)
ASCE/SEI 7-10	Severa (PR = 475 años)	Extremadamente raro (PR = 2475 años)

El reglamento peruano E-030 usa el nivel sísmico de diseño (SDI) con una probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años

El reglamento ASCE/SEI 7-10, que va ha ser usado en la aplicación practica de la presente tesis ,tiene un nivel sísmico mayor a los otros reglamento para el sismo máximo denominado MÁXIMO SISMO CONSIDERADO (MCE)

2. Parámetros previos de diseño

a) Zonificación sísmica

Cada reglamento establece sus propias zonas sísmicas de acuerdo a ello se obtienen las aceleraciones máximas de terreno.

Para la realidad peruana usaremos lo establecido en el RNE-030. Ver tabla 5.1:

b) Tipo de Suelo

Cada reglamento establece sus propias factores de acuerdo al tipo de suelo a usar.

Para la realidad peruana usaremos lo establecido en el RNE-030. Ver cuadro 5.2:

c) *Importancia de la edificación*

Cada reglamento establece sus propias factores de importancia de acuerdo al uso que se va a dar a la edificación.

El factor de importancia U se considera igual a la unidad. Siendo esta orientación la misma aplicada en los reglamentos de aislación sísmica

d) *Combinación de carga*

Se usaran las combinaciones de carga establecidas en el reglamento E-060 de Concreto Armado.

$$C1 = 1,4CM + 1,7CV \quad (6.1)$$

$$C2 = 1,25(CM + CV) \pm CS \quad (6.2)$$

$$C3 = 0,9CM \pm CS \quad (6.3)$$

e) *Carga de estabilidad vertical*

Se calculara dos tipos de carga vertical para la verificación de la estabilidad vertical: Carga vertical máxima y la carga vertical mínima. Ambos resultados del análisis por medio de la envolvente de las combinaciones de las ecuaciones 6.1, 6.2 y 6.3.

3. Análisis Estático

a) *Condiciones de uso*

Las condiciones de uso del método estático adaptadas a la realidad peruana serian las siguientes:

- 1) La estructura se encuentra en un sitio con una aceleración máxima del terreno menor a 0,60 g.
- 2) La estructura este ubicada en un tipo de suelo tipo $S1$ o $S2$.
- 3) La estructura por encima de la interfaz de aislamiento es igual o menor de cuatro pisos o 19.8 m en altura.
- 4) El periodo efectivo de la estructura aislada, T_M , sea menor o igual a 3.0 s.

- 5) El periodo efectivo de la estructura aislada, T_d , sea mayor que tres veces el periodo clásico de base fija de la superestructura.
- 6) La superestructura tenga una configuración regular.

b) *Aceleración espectral de diseño*

El reglamento E-030 usa la aceleración espectral correspondiente al sismo de diseño S_{D1} en la zonificación sísmica del territorio peruano. Como se vio en el apartado 1 (Niveles de movimiento sísmico).

La relación entre el sismo máximo considerado y el sismo de diseño es:

$S_{M1} = 1,5S_{D1}$

▪ *Factores de zona sísmica*

Teniendo en cuenta lo antes dicho los factores de aceleraciones Z para cada tipo de sismo se da en las tablas 6.3 y 6.4:

• *Factor Z para sismo de Diseño (S_{D1})*

Tabla 6.3. Factores de Zona para S_{D1}

Factor de Zona para S_{D1}	
Zona	Z_{SD1}
3	0.40
2	0.3
1	0.15

• *Factor Z para sismo máximo considerado (S_{M1})*

Tabla 6.4. Factores de Zona para S_{M1}

Factor de Zona para S_{M1}	
Zona	Z_{SM1}
3	0.60
2	0.45
1	0.225

▪ *Valor de las aceleraciones espectrales*

Como se puede observar en la descripción de los reglamentos de aislamiento sísmico, las aceleraciones de diseño finales están en función a los factores de tipo de suelo, importancia y otros factores.

Por ello se concluye para el reglamento E-030 que:

$$S_{D1} = Z_{SD1} UCS \quad (6.4)$$

$$S_{M1} = Z_{SM1} UCS \quad (6.5)$$

Los valores U,C,S son los factores de uso,amplificación y de suelo del reglamento E-030.

c) *Desplazamientos laterales mínimos*

El desplazamiento de diseño, el desplazamiento máximo y los desplazamiento totales son evaluados de manera similar al reglamento ASCE/SEI 7-10 descrito en la sección 4.3-2

d) *Fuerzas laterales mínimas*

Las formulaciones para el calculo de las fuerzas laterales mínimas son similares al reglamento ASCE/SEI 7-10 descrito en la sección 4.3-2

Teniendo en cuenta lo siguiente:

El factor R_I equivalente en concepto al factor R del reglamento E-030 debe ser como máximo igual a 2 y su valor es de 3/8 del valor R cuando la estructura es empotrada al suelo.

Evalutando el cuadro 5.4 se hace la modificación hacia la tabla 6.5.

Este factor R_I es aplicada en el calculo de la fuerza lateral de la superestructura.

El proceso de distribución de fuerza en vertical y los limite de desplazamiento de entrepiso serán los mismos considerados en el ASCE/SEI 7-10

4. Análisis Dinámico

Las consideraciones en el análisis dinámico serán las mismas establecidas en el ASCE/SEI 7-10.

Tabla 6.5. Modificación del factor R para aislamiento sísmico

Modificación del factor R				
Material	Sistema estructural	Factor R	$3/8 R$	Factor R_I
Acero	Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos	9.5	3.56	2.0
Acero	Arriostres excéntricos	6.5	2.43	2.0
Acero	Arriostres en cruz	6.0	2.25	2.0
Concreto Armado	Pórticos	8.0	3.0	2.0
Concreto Armado	Dual	7.0	2.62	2.0
Concreto Armado	Muros estructurales	6.0	2.25	2.0
Concreto Armado	Muros de ductilidad limitada	4.0	1.5	1.5
Albañilería	Armada o confinada	3.0	1.12	1.12
Madera	Madera	7.0	2.62	2.0

Capítulo 7

Metodología de diseño de los Aisladores Elastomericos

Para la presente tesis se usaran dos tipos de aisladores elastomericos: Aisladores elastomericos de alto amortiguamiento (HDR) y los Aisladores elastomericos con núcleo de plomo (LRB). Se presentara a continuación los tipos de sistema de aislamiento que serán diseñados en la presente tesis [1], [9]:

1. Sistema con un tipo de aislador elastomerico de alto amortiguamiento (HDR).
2. Sistema con un tipo de aislador elastomerico de núcleo de plomo (LRB).
3. Sistema con dos tipos de aisladores elastomericos de alto amortiguamiento HDR1 y HDR2
4. Sistema con aislador elastomerico tipo HDR en combinación con un tipo de aislador LRB.

En la figura 7.1 se muestra las dimensiones de un aislador representativo con las variables que se usaran a lo largo de los cálculos:

DATOS GENERALES:

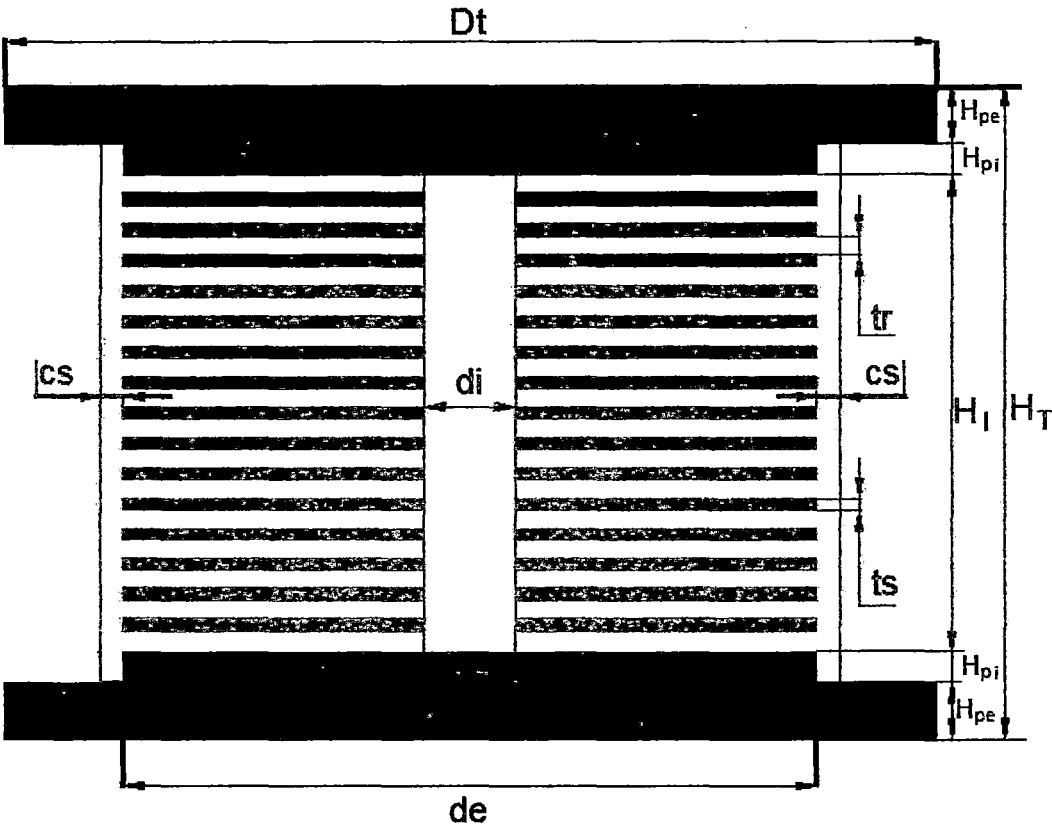


Figura 7.1. Dimensiones de aislador sísmico modelo.

Para el diseño de cualquier tipo de sistema de aislamiento es necesario contar con los siguientes datos generales previos:

- El periodo objetivo T_D de la edificación aislada. Su unidad es segundos.
- El peso total de la estructura sobre el sistema de aislamiento W . Este valor es calculado considerando lo establecido en la tabla 5.5 del capítulo 5 de la Norma de Diseño Sismorresistente E-030. Su unidad es Kg-f.
- El numero total de aisladores N del sistema de aislamiento.
- La carga máxima P_{max} , que es la fuerza vertical máxima existente en cualquiera de los puntos de ubicación de los aisladores. Es calculada considerando la envolvente de las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 6 .Su unidad es Kg-f.
- La carga mínima P_{min} , que es la fuerza vertical mínima existente en cualquiera

de los puntos de ubicación de los aisladores. Es calculada considerando la envolvente de las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 6. Su unidad es Kg-f.

- Sismo de diseño y sismo máximo considerado, definidos en el capítulo 6 por las siguientes expresiones:

$$S_{D1} = Z_{SD1} UCS$$

$$S_{M1} = Z_{SM1} UCS$$

- Se debe conocer las características técnicas de los aisladores existentes en el mercado.

El proceso de diseño de los cuatro tipos de sistemas de aislamiento es la siguiente:

1. SISTEMA CON AISLADORES ELASTOMERICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR).

a) Datos

Se establecen los siguientes datos adicionales:

1) *Se establece el amortiguamiento efectivo del sistema β .*

El amortiguamiento es una característica propia del aislador y colabora a la estructura absorbiendo la energía del movimiento sísmico y reduciendo los desplazamientos y fuerzas en la superestructura.

2) *Deformación de corte directa máxima γ_{cd} y deformación de corte máxima admisible γ_{cma} .*

Son equivalentes a la división de la deformación lateral del aislador entre su altura elástica (goma).

Son obtenidos de las propiedades de fabricación del aislador. Por lo general son $\gamma_{cd} = 150\%$ y $\gamma_{cma} = 250\%$.

Representan las máximas relaciones de deformación que pueden tener los aisladores. Utilizando γ_{cd} para diseños a regulares capacidades del aislador y γ_{cma} para diseños a máximas capacidades del aislador.

Sus unidades son %, pero al usar en el proceso de cálculo es dividido entre 100.

3) *Tipo de conexión*

Existen dos tipos de conexión del aislador hacia la estructura: las llaves de corte (dowel type) o clavijas y el uso de pernos de anclaje. Por lo general se usan los aisladores con conexión por medio de pernos de anclaje.

4) *Tensión admisible de compresión τ_{ac} .*

Son obtenidos de las características técnicas del fabricante.

5) *Diámetro interno D_i .*

Dimensión definida a elección del usuario.

b) **Proceso**

El proceso de diseño es el siguiente:

1) *Calculo del factor de reducción por amortiguamiento B_D .*

Teniendo el amortiguamiento efectivo β , se procede a interpolar el valor de B_D , usando el cuadro 4.13. La unidad de este valor es adimensional.

2) *Calculo del desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} , desplazamiento total máximo D_{TM} .*

Se calcula estos valores de acuerdo a las ecuaciones revisadas en el capítulo 4. Todos ellos en unidades cm.

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (7.1)$$

$$D_M = 1,5 * D_D \quad (7.2)$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D \quad (7.3)$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M \quad (7.4)$$

3) *Calculo de la rigidez horizontal total K_{ht} , y de cada aislador K_{hi} .*

La rigidez horizontal total es calculada por medio de la ecuación 7.5:

$$K_{ht} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \text{ en } kgf/cm \quad (7.5)$$

Y la rigidez para cada aislador se obtiene con la ecuación 7.6:

$$K_{hi} = \frac{K_{ht}}{N} \text{ en } kgf/cm \quad (7.6)$$

4) **Calculo del área del aislador A , diámetro externo D_e .**

Se predimensiona el área inicial del aislador usando la Carga máxima existente P_{max} y la tensión admisible a la compresión τ_{ac} .

$$A = \frac{P_{max}}{\tau_{ac}} \text{ en } cm^2 \quad (7.7)$$

Considerando un diámetro interno D_i se calcula el diámetro externo D_e :

$$D_e = 2\sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{D_i^2}{4}} \text{ en } cm \quad (7.8)$$

Se promedia el valor del diámetro externo D_e a una dimensión existente en el catalogo del fabricante.

Entonces se recalcula el área del aislador, siendo esta el área final:

$$A = \pi * \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right) \text{ en } cm^2 \quad (7.9)$$

5) **Calculo de la altura total de la goma del aislador H_g .**

Es equivalente a la división entre el desplazamiento y la deformación de cortante.

Para el calculo de la altura de goma del aislador se puede utilizar cualquiera de los cuatro tipos de desplazamiento calculados en el paso 2.

Cabe recalcar que para un nivel de sismo de diseño se puede usar: D_D o D_{TD} y para un nivel de sismo máximo posible se puede usar: D_M o D_{TM} . Esto depende del nivel de diseño y la importancia de la edificación a aislar.

Para el caso de las deformaciones γ_{cd} y γ_{cma} también es posible utilizar cualquiera de las opciones.

Sin embargo se recomienda utilizar una deformación de cortante de diseño promedio :

$$\gamma_{cprom} = \frac{\gamma_{cd} + \gamma_{cma}}{2} \text{ en } \% \quad (7.10)$$

Reemplazando las deformaciones estándar se obtiene $\gamma_{cprom} = 200 \%$.

De esta manera se considera un equilibrio entre la economía (altura de la goma) y el requerimiento sísmico (Nivel de sismo para el diseño).

La altura total de la goma se determina con la ecuación 7.11:

$$H_g = \frac{D_j}{\gamma_j} \text{ en cm} \quad (7.11)$$

Siendo D_j y γ_j los factores descritos al inicio. Y γ_j como valor numérico y no porcentual.

- 6) *Espesor de la capa de goma t_g , número de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g .*

Se propone un espesor de la capa de goma: t_g en cm. Por lo general el espesor de la capa de goma está en el rango de 0.5 a 1.0 cm.

Entonces el número de capas de goma es: $nc = \frac{H_g}{t_g}$.

Se redondea el valor del número de capas nc

Se recalcula la altura total de la goma: $H_g = nc * t_g$ en cm

- 7) *Cálculo del módulo de corte G del aislador*

$$G = \frac{K_{hi} H_g}{A} \text{ en kg -- f/cm}^2 \quad (7.12)$$

Se debe verificar que este valor esté en el rango de módulos de corte del fabricante.

Si este es menor a dicho rango, entonces se vuelve al paso 6 y se incrementa el número de capas de goma hasta llegar a un valor dentro de dicho rango.

- 8) *Cálculo del factor de forma S .*

El cálculo del factor de forma se da con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{D_e - D_i}{4t_g} \text{ adim} \quad (7.13)$$

- 9) ***Espesor de la capa de acero t_s y se comprueba su resistencia a la tensión admisible.***

Se propone un espesor de la capa de acero t_s luego se calcula la tensión máxima de las placas de acero τ_s :

$$\tau_s = 1,5 \frac{t_g}{t_s} \tau_{ac} \text{ en } kg - f/cm^2 \quad (7.14)$$

Donde:

τ_{ac} : es la tensión admisible a la compresión del aislador.

1.50 : es el factor de seguridad.

Luego se obtiene la tensión admisible de tracción del acero, que es un porcentaje del esfuerzo su fluencia σ_y .

$$\tau_{adm} = 0,75 \sigma_y \text{ en } kg - f/cm^2 \quad (7.15)$$

Luego se debe de cumplir que:

$$\tau_s \leq \tau_{adm}$$

- 10) ***Calculo de la altura interna H_i y la altura total del aislador H_T .***

Se procede a calcular la altura interna H_i del aislador que es la suma de la altura total de la goma y las laminas de acero.

$$H_i = H_g + (nc - 1)t_s \text{ en } cm \quad (7.16)$$

Luego se extrae de los datos del fabricante la altura de las placas exteriores H_{pe} y las placas interiores H_{pi} . Ver figura 7.1

Entonces se calcula la altura total del aislador:

$$H_T = H_i + 2H_{pe} + 2H_{pi} \text{ en } cm \quad (7.17)$$

- 11) ***Calculo de la rigidez y frecuencia vertical K_v y f_v***

Con el fin de disminuir las deformaciones verticales y la amplificación de las aceleraciones se verifica que la rigidez vertical sea la adecuada. Esto se consigue haciendo que la frecuencia vertical sea mayor a 10Hz.

$$f_v > 10Hz$$

La rigidez vertical se obtiene de la ecuación:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.18)$$

donde:

H_g : Es la altura total de la goma.

A : Es el área final del aislador.

E_{ci} : Es el modulo de compresión de la unión acero goma y es calculado por la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{E_{ci}} = \left(\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K_g} \right) \quad (7.19)$$

Despejando se tiene:

$$E_{ci} = \frac{6GS^2K_g}{K_g + 8GS^2} \text{ en } kg - f/cm^2 \quad (7.20)$$

Donde:

G : Es el modulo de corte.

S : Es el factor de forma.

K_g : Es el modulo de compresibilidad de la goma.

Entonces se debe cumplir que la rigidez vertical sea mayor a mil veces la rigidez horizontal:

$$K_v > 1000 * K_{hi}$$

Luego la frecuencia horizontal f_h es equivalente a:

$$f_h = 1/T_D \text{ en } Hz$$

Donde:

T_D : El periodo objetivo de la edificación aislada

La frecuencia vertical f_v es calculada con:

$$f_v = \sqrt{6}Sf_h \text{ en } Hz$$

Donde:

S : Es el factor de forma.

f_h : Es la frecuencia horizontal

Entonces se debe de cumplir:

$$f_v > 10Hz$$

12) *Se verifica la rigidez horizontal K_{hi} y el periodo objetivo T_D .*

Se recalcula la rigidez horizontal y el periodo objetivo despejando de las ecuaciones 7.5 y 7.12:

$$K_{hi} = \frac{GA}{H_g} \text{ en } kgf/cm \quad (7.21)$$

Con ella se obtiene el periodo objetivo:

$$T_D = \sqrt{\frac{4\pi^2 W}{NK_{hi}g}} \text{ en } seg \quad (7.22)$$

Estos valores no deben alejarse exageradamente de los valores originales.

13) *Verificación de la estabilidad por deformación angular máxima.*

La deformación angular máxima es equivalente a la suma de la deformación angular por corte γ_z y compresión γ_c . Despreciando la influencia de el efecto por flexión por ser muy pequeña. Se expresa con la ecuación 7.23:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c \text{ en } grados \quad (7.23)$$

Donde:

$$\gamma_z = \frac{D_j}{H_g} \text{ en } grados \quad (7.24)$$

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \text{ en } grados \quad (7.25)$$

Donde:

D_j : Es el tipo de desplazamiento con el cual se esta diseñando el sistema de aislamiento.

ε_c : Es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E_O(1 + 2KS^2)} \quad (7.26)$$

Donde:

A : Es el área final del aislador.

E_O : Es un factor que es dato de fabricación, por lo general es igual a 35.

K : valor considerado entre 0.7 y 1

La deformación angular máxima aceptable esta dado por la ecuación

:

$$\gamma_{maxaceptable} = \frac{0,85 * \varepsilon_b}{F.S.} \text{ en grados} \quad (7.27)$$

Donde

ε_b : Factor que se considera por lo general igual a 5.5

$F.S$: Factor de seguridad igual o superior a 1.5.

Se debe cumplir la condición:

$$\gamma_m \leq \gamma_{maxaceptable}$$

Si no se cumple esta condición se debe cambiar la altura de la goma en el paso 5.

14) *Verificación de estabilidad por pandeo.*

La cargas de corte y compresión en combinación pueden producir el efecto de pandeo en el aislador. Este fenómeno hace que las laminas de acero no estén en paralelo, haciendo que las propiedades del aislador cambien. Como es el valor de la rigidez horizontal. Por ello se calcula la carga critica para la ocurrencia del pandeo con la ecuación 7.28:

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \text{ en Kg - f} \quad (7.28)$$

Donde:

$$P_s = G * A_s \text{ en Kg - f} \quad (7.29)$$

Donde:

P_s : Es la rigidez a corte efectiva por unidad de longitud.

A_s : Es el área de corte efectiva siendo su valor igual a:

$$A_s = A * \frac{H_i}{H_g} \text{ en cm}^2 \quad (7.30)$$

Donde:

H_i : Es la altura interna resultado de la combinación del acero mas la goma.

H_g : Es la altura total de la goma.

El incremento del área final es debido a la consideración de que las planchas de acero no se deforman en un sistema compuesto.

La rigidez al pandeo por efectos de compresión sin considerar corte se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_E = \frac{\pi^2 * (E * I)_{eff}}{H_i^2} \text{ en Kg - f} \quad (7.31)$$

$$(E * I)_{eff} = \frac{E_{ci} * I}{3} \quad (7.32)$$

Donde:

E_{ci} : Es el modulo de compresión de la unión acero mas goma.

I : Inercia de la sección del aislador.

El valor de I es igual a:

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{D_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right) \text{ en cm}^4 \quad (7.33)$$

Entonces la rigidez al pandeo es:

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_{ci} * I}{3 * H_i^2} \text{ en Kg - f} \quad (7.34)$$

Finalmente se debe cumplir la siguiente condición para verificar la estabilidad por pandeo:

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} \geq F.S \quad (7.35)$$

Por lo general el factor $F.S = 2$.

En caso de que no se cumpla esta condición se debe aumentar el diámetro del aislador.

15) *Verificación de estabilidad por volcamiento.*

Para verificar la estabilidad por volcamiento se determina el desplazamiento máximo posible. Y estas condiciones se dan con la carga vertical mínima aplicada:

$$D_{max} = \frac{P_{min} D_e}{P_{min} + K_{hi} H_i} \text{ en cm} \quad (7.36)$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{D_{max}}{D_j} \geq F.S \quad (7.37)$$

El factor de seguridad $F.S$ es:

$F.S = 1$: Si el tipo de conexión es fija con pernos.

$F.S = 2$: Si el tipo de conexión es con llaves de corte o clavijas.

Donde:

P_{min} : Es la carga mínima existente.

D_e : Es el diámetro exterior del aislador.

D_j : Es el desplazamiento de diseño.

K_{hi} : Es la rigidez horizontal del aislador.

H_i : Es la altura interna del aislador es equivalente a a la suma de la altura de la goma mas las plancha de acero.

2. SISTEMA CON AISLADORES ELASTOMERICOS CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB).

a) Datos

Se establecen los siguientes datos:

- 1) *Se establece el amortiguamiento efectivo del sistema β .*

El amortiguamiento es una característica propia del aislador y colabora a la estructura absorbiendo la energía del movimiento sísmico y reduciendo los desplazamientos y fuerzas en la superestructura.

- 2) *Deformación de corte directa máxima γ_{cd} y deformación de corte máxima admisible γ_{cma} .*

Son equivalentes a la división de la deformación lateral del aislador entre su altura elástica (goma).

Son obtenidos de las propiedades de fabricación del aislador. Por lo general son $\gamma_{cd} = 150\%$ y $\gamma_{cma} = 250\%$.

Representan las máximas relaciones de deformación que pueden tener los aisladores. Utilizando γ_{cd} para diseños a regulares capacidades del aislador y γ_{cma} para diseños a máximas capacidades del aislador.

Sus unidades son %, pero al usar en el proceso de calculo es dividido entre 100.

3) *Tipo de conexión.*

Existen dos tipos de conexión del aislador hacia la estructura: las llaves de corte (dowel type) o clavijas y el uso de pernos de anclaje. Por lo general se usan los aisladores con conexión por medio de pernos de anclaje.

4) *Tensión admisible de compresión τ_{ac} .*

Son obtenidos de las características técnicas del fabricante.

5) *Esfuerzo de fluencia del plomo σ_{yp} .*

Característica propia del plomo, importante para la estimación de la fuerza característica del aislador. Su valor es por lo general: $\sigma_{yp} = 100 \text{ Kg} - \text{f/cm}^2$

6) *Proporción entre la rigidez inicial y la rigidez de postfluencia $f_n = \frac{K_i}{K_{hp}}$.*

El aislador con núcleo de plomo actúa ante la acción sísmica inicialmente en el rango elástico luego en el rango plástico. La relación entre dichas rigideces es importante para determinar las características técnicas del aislador.

Este factor es proporcionado por el fabricante. Por lo general se usa $f_n = 10$.

b) *Proceso*

1) *Calculo del factor de reducción por amortiguamiento B_D .*

Teniendo el amortiguamiento efectivo β , se procede a interpolar el valor de B_D , usando el cuadro 4.13. La unidad de este valor es adimensional.

2) *Calculo del desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} , desplazamiento total máximo D_{TM} .*

Se calcula estos valores de acuerdo a las ecuaciones revisadas en el capítulo 4. Todos ellos en unidades cm.

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (7.38)$$

$$D_M = 1,5 * D_D \quad (7.39)$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D \quad (7.40)$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M \quad (7.41)$$

3) *Calculo de la rigidez horizontal total K_{ht} , y de cada aislador*

K_{hi}

La rigidez horizontal total es calculada por medio de la ecuación 7.42:

$$K_{ht} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \text{ en } kgf/cm \quad (7.42)$$

Y la rigidez para cada aislador se obtiene con la ecuación 7.43:

$$K_{hi} = \frac{K_{ht}}{N} \text{ en } kgf/cm \quad (7.43)$$

4) *Calculo del diámetro posible del núcleo de plomo D_L , la fuerza característica de cada aislador Q_i y la fuerza característica total Q_t .*

El comportamiento histerético de los aisladores sísmicos es regido por el modelamiento bilineal (Ver capítulo 8).

seis de las ecuaciones que rigen el modelamiento bilineal y que también serán vistas posteriormente son:

▪ *El amortiguamiento efectivo del aislador:*

$$\beta = \frac{W_D}{2 * \Pi * K_{ef} * D_j^2} \text{ en } \% \quad (7.44)$$

▪ *La Energía disipada por el aislador:*

$$W_D = 4 * Q_i * (D_j - D_y) \text{ en } Kg - f * cm \quad (7.45)$$

▪ *La rigidez efectiva del aislador:*

$$K_{ef} = K_{hp} + \frac{Q_i}{D_j} \text{ en } Kg - f/cm \quad (7.46)$$

- La rigidez efectiva del aislador:

$$D_y = \frac{Q_i}{K_i - K_{hp}} \text{ en cm} \quad (7.47)$$

- La fuerza característica del núcleo de plomo:

$$Q_i = \sigma_{yp} * A_{Li} \text{ en Kg} - f \quad (7.48)$$

- La rigidez inicial del aislador:

$$K_i = f_n * K_{hp} \text{ en Kg} - f/cm \quad (7.49)$$

Donde:

β : Amortiguamiento efectivo del aislador.

W_D : Energía disipada por ciclo de histéresis.

K_{ef} : Rigidez efectiva del aislador.

D_j : Desplazamiento utilizado para el diseño del aislador.

D_y : Desplazamiento de fluencia del aislador.

Q_i : Fuerza característica del aislador.

K_{hp} : Rigidez de postfluencia del aislador.

K_i : Rigidez inicial en el rango elástico del aislador.

f_n : Proporción entre la rigidez inicial y de postfluencia.

σ_{yp} : Esfuerzo de fluencia del plomo.

A_{Li} : Área del núcleo de plomo.

Usando la ecuación 7.44, se reemplaza en ella la ecuación 7.45:

$$\beta = \frac{W_D}{2 * \Pi * K_{ef} * D_j^2} \quad (7.50)$$

$$\beta = \frac{4 * Q_i * (D_j - D_y)}{2 * \Pi * K_{ef} * D_j^2} \quad (7.51)$$

despejando se tiene:

$$\beta * (2 * \Pi * K_{ef} * D_j^2) = 4 * Q_i * (D_j - D_y) \quad (7.52)$$

Se establece el factor A1:

$$A1 = 2 * \Pi * \beta * D_j^2 \quad (7.53)$$

Reemplazando la ecuación 7.47 y 7.53 en la ecuación 7.52 se tiene:

$$A1 * K_{ef} = 4 * Q_i * \left(D_j - \frac{Q_i}{K_i - K_{hp}} \right) \quad (7.54)$$

Se reemplaza la ecuación 7.49 en 7.54:

$$A1 * K_{ef} = 4 * Q_i * \left(D_j - \frac{Q_i}{(f_n - 1) * K_{hp}} \right) \quad (7.55)$$

Despejando y moviendo todos los miembros al lado izquierdo se tiene:

$$Q_i^2 * \left(\frac{1}{(f_n - 1)} + 1 \right) - K_{ef} * \left(\frac{A1 + 4 * D_j^2}{4 * D_j} \right) * Q_i + \frac{A1 * K_{ef}^2}{4} = 0 \quad (7.56)$$

Usando los factores:

$$A = \frac{1}{(f_n - 1)} \quad (7.57)$$

$$B = \left(\frac{A1 + 4 * D_j^2}{4 * D_j} \right) \quad (7.58)$$

$$C = \frac{A1 * K_{ef}^2}{4} \quad (7.59)$$

Se reemplaza en la ecuación 7.56:

$$A * Q_i^2 - B * Q_i + C = 0 \quad (7.60)$$

Esta es una ecuación cuadrática cuyas raíces dan como resultado las fuerzas características Q_{i1} y Q_{i2} .

Luego usando la ecuación 7.48 se despeja el diámetro del aislador D_{Li} :

$$D_{Li} = \sqrt{\frac{4 * Q_i}{\Pi * \sigma_{yp}}} \text{ en cm} \quad (7.61)$$

Se tendrán entonces dos diámetros: D_{Li1} y D_{Li2} .

La incorporación del núcleo de plomo en el aislador colabora en el aumento de la RIGIDEZ y el AMORTIGUAMIENTO.

La rigidez efectiva K_{ef} es la suma de las rigideces del cuerpo de acero y goma mas la rigidez proporcionada por el núcleo de plomo.

La elección del diámetro de plomo mayor aumenta la rigidez en el núcleo y para cumplir con la rigidez efectiva requerida se requiere disminuir la rigidez del cuerpo de acero y goma (Disminuir el modulo de corte G). Entonces se debe cuidar que el valor de G este en el rango del fabricante.

Lo contrario ocurre con la elección del diámetro menor.

La elección de una u otra es valida.

Luego la fuerza característica total del sistema de aislamiento es:

$$Q_t = Q_i * N \text{ en } Kg - f \quad (7.62)$$

5) *Calculo del área del aislador A , diámetro externo D_e .*

Se predimensiona el área inicial del aislador usando la carga máxima existente P_{max} y la tensión admisible a la compresión τ_{ac} .

$$A = \frac{P_{max}}{\tau_{ac}} \text{ en } cm^2 \quad (7.63)$$

Considerando un diámetro interno $D_i = D_L$ se calcula el diámetro externo D_e :

$$D_e = 2\sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{D_L^2}{4}} \text{ en } cm \quad (7.64)$$

Se promedia el valor del diámetro externo D_e a una dimensión existente en el catalogo del fabricante.

Entonces se recalcula el área del aislador, siendo esta el área final:

$$A = \pi * \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_L^2}{4} \right) \text{ en } cm^2 \quad (7.65)$$

6) *Calculo de la altura total de la goma del aislador H_g , el espesor de la capa de goma t_g , el numero de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g .*

Teniendo en consideración lo establecido para el caso HDR la altura de la goma se calcula con:

$$H_g = \frac{D_j}{\delta_j} \text{ en } cm \quad (7.66)$$

- 7) *Espesor de la capa de goma t_g , numero de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g .*

Se propone un espesor de la capa de goma: t_g en cm. Por lo general el espesor de la capa de goma esta en el rango de 0.5 a 1.0 cm.

Entonces el numero de capas de goma es: $nc = \frac{H_g}{t_g}$.

Se redondea el valor del numero de capas nc

Se recalcula la altura total de la goma: $H_g = nc * t_g$ en cm

- 8) *Calculo del modulo de corte G del aislador.*

El modulo de corte afecta solo al cuerpo acero mas goma, entonces se debe descontar de la rigidez efectiva la rigidez del núcleo de plomo.

$$G = \frac{(K_{hi} - K_{plomo}) * H_g}{A} = \frac{(K_{hi} - \frac{Q_i}{D_j}) * H_g}{A} \text{ en } Kg - f/cm^2 \quad (7.67)$$

Donde:

$K_{ef} = K_{hi}$: Rigidez efectiva del aislador.

H_g : Altura total de la goma.

Q_i : Fuerza característica del núcleo de plomo.

D_j : Tipo de desplazamiento utilizado para el diseño.

A : Área final del aislador.

Se debe verificar que este valor este en el rango de módulos de corte del fabricante.

Si este es menor a dicho rango, entonces se vuelve al paso 6 y se incrementa el numero de capas de goma hasta llegar a un valor dentro de dicho rango.

- 9) *Calculo del factor de forma S .*

En nuestro caso se tiene un diámetro interno con un núcleo de plomo entonces el calculo del factor de forma es:

$$S = \frac{D_e^2 - D_L^2}{4 * D_e * t_g} \quad (7.68)$$

Donde:

D_e : Es el diámetro externo del aislador.

D_L : Es el diámetro del núcleo de plomo.

t_g : Es el espesor de la capa de goma.

- 10) *Se establece el espesor de la capa de acero t_s y se comprueba su resistencia a la tensión admisible.*

Se propone un espesor de la capa de acero t_s luego se calcula la tensión máxima de las placas de acero τ_s :

$$\tau_s = 1,5 \frac{t_g}{t_s} \tau_{ac} \text{ en } kg - f/cm^2 \quad (7.69)$$

Donde:

τ_{ac} : es la tensión admisible a la compresión del aislador.

1.50 : es el factor de seguridad.

Luego se obtiene la tensión admisible de tracción del acero, que es un porcentaje del esfuerzo su fluencia σ_y .

$$\tau_{adm} = 0,75 \sigma_y \text{ en } kg - f/cm^2 \quad (7.70)$$

Luego se debe de cumplir que:

$$\tau_s \leq \tau_{adm}$$

- 11) *Calculo de la altura interna H_i y la altura total del aislador H_T .*

Se procede a calcular la altura interna H_i del aislador que es la suma de la altura total de la goma y las laminas de acero.

$$H_i = H_g + (nc - 1)t_s \text{ en } cm \quad (7.71)$$

Luego se extrae de los datos del fabricante la altura de las placas exteriores H_{pe} y las placas interiores H_{pi} . Ver figura 7.1

Entonces se calcula la altura total del aislador:

$$H_T = H_i + 2H_{pe} + 2H_{pi} \text{ en } cm \quad (7.72)$$

- 12) *Calculo de la rigidez de postfluencia, la rigidez inicial y la rigidez efectiva.*

La rigidez postfluencia del aislador es:

$$K_{hp} = \frac{G * A}{H_g} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.73)$$

La rigidez inicial elástica es considerada como f_n veces la rigidez de postfluencia. El valor de f_n esta por lo general en el rango de 6.5 a 10.

$$K_i = f_n * K_{hp} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.74)$$

La rigidez efectiva se calcula con la ecuación:

$$K_{ef} = K_{hp} + \frac{Q_i}{D_j} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.75)$$

El valor de la rigidez efectiva K_{ef} debe ser igual o muy próximo a la rigidez K_{hi} inicialmente supuesto.

- 13) *Se calcula el desplazamiento de fluencia, la fuerza de fluencia y la energía disipada.*

Se calcula el desplazamiento de fluencia considerando con la siguiente ecuación:

$$D_y = \frac{Q_i}{K_i - K_{hp}} \text{ en } cm \quad (7.76)$$

La fuerza de fluencia del aislador es:

$$F_y = Q_i + K_{hp} * D_y \text{ en } kg - f \quad (7.77)$$

La energía disipada en un ciclo de histéresis del aislador es:

$$W_D = 4 * Q_i * (D_j - D_y) \text{ en } kg - f * cm \quad (7.78)$$

Donde:

K_i : Rigidez inicial en el rango elástico del aislador.

K_{hp} : Rigidez de postfluencia del aislador.

D_j : Tipo de desplazamiento utilizado para el diseño.

- 14) *Calculo de amortiguamiento efectivo final β y su correspondiente coeficiente de amortiguamiento B_D .*

El amortiguamiento efectivo final β es:

$$\beta = \frac{W_D}{2 * \Pi * K_{ef} * D_j^2} \quad (7.79)$$

Teniendo el amortiguamiento efectivo β se procede a interpolar los valores de B_D Usando el cuadro 4.13.

15) **Comprobación periodo real del sistema de aislamiento T_D**

Se verifica que el periodo real del sistema sea igual o muy próximo al periodo supuesto inicialmente.

$$T_D = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W}{N * K_{ef} * g}} \text{ en Segundos} \quad (7.80)$$

16) **Comprobación del desplazamiento real del sistema D_j .**

A partir del periodo real calculado se puede obtener el desplazamiento de diseño D_D :

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4 \pi^2 B_D} \text{ en cm} \quad (7.81)$$

como también: D_{TD}, D_M, D_{TM} . El desplazamiento escogido D_j para el diseño deberá ser igual o muy próximo a su semejante.

17) **Calculo de la rigidez efectiva final K_{ef} .**

Se re calcula la rigidez efectiva de acuerdo a la ecuación:

$$K_{ef} = K_{hp} + \frac{Q_i}{D_j} \text{ en Kg - f/cm} \quad (7.82)$$

18) **Calculo de la energía disipada final W_D .**

Se recalcula la energía disipada por el aislador:

$$W_D = 4 * Q_i * (D_{TM} - D_y) \text{ en kg - f * cm} \quad (7.83)$$

19) **Calculo de la rigidez y frecuencia vertical K_v y f_v .**

Con el fin de disminuir las deformaciones verticales y la amplificación de las aceleraciones se verifica que la rigidez vertical sea la adecuada. Esto se consigue haciendo que la frecuencia vertical sea mayor a 10Hz.

$$f_v > 10Hz$$

La rigidez vertical se obtiene de la ecuación:

$$K_v = \frac{E_{ci} A}{H_g} + \frac{E_{pl} A_p}{H_{pl}} \text{ en kgf/cm} \quad (7.84)$$

Donde:

H_g : Es la altura de la goma.

H_{pl} : Es la altura del núcleo del plomo.

A : Es el área del aislador descontando el área del núcleo.

A_p : Es el área del núcleo de plomo.

E_{pl} : Es el modulo de compresión de el núcleo de plomo y es equivalente a 140000 kgf/cm².

E_{ci} : Es el modulo de compresión de la unión acero goma y es calculado por la ecuación 7.85:

$$\frac{1}{E_{ci}} = \left(\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K_g} \right) \quad (7.85)$$

Donde:

G : Es el modulo de corte.

S : Es el factor de forma del aislador sin núcleo de plomo.

K_g : Es el modulo de compresibilidad de la goma, su valor es por lo general 20000 Kg - f/cm².

Entonces se debe cumplir que la rigidez vertical sea mayor a mil veces la rigidez horizontal:

$$K_v > 1000 * K_{hi}$$

La frecuencia vertical es calculada con:

$$f_v = \sqrt{6} \cdot S \cdot f_h \text{ en Hz}$$

Donde:

S : Es el factor de forma del aislador con núcleo de plomo.

f_h : Es la frecuencia horizontal y es equivalente a:

$$f_h = 1/T_D \text{ en Hz}$$

Donde:

T_D : El periodo real del sistema de aislamiento

Entonces se debe de cumplir que:

$$f_v > 10Hz$$

20) Verificación de la estabilidad por deformación angular máxima

La deformación angular máxima es equivalente a la suma de la deformación angular por corte γ_z y compresión γ_c . Despreciando la

influencia de el efecto por flexión por ser muy pequeña. Se expresa con la ecuación 7.86:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c \text{ en grados} \quad (7.86)$$

Donde:

$$\gamma_z = \frac{D_j}{H_g} \text{ en grados} \quad (7.87)$$

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \text{ en grados} \quad (7.88)$$

Donde:

D_j : Es el tipo de desplazamiento con el cual se esta diseñando el sistema de aislamiento.

ε_c : Es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E_O(1 + 2KS^2)} \quad (7.89)$$

Donde:

A : Es el área final del aislador.

E_O : Es un factor que es dato de fabricación, por lo general es igual a 35.

K : valor considerado entre 0.7 y 1.

La deformación angular máxima aceptable esta dado por la ecuación :

$$\gamma_{maxaceptable} = \frac{0,85 * \varepsilon_b}{F.S.} \text{ en grados} \quad (7.90)$$

En donde

ε_b : Factor que se considera por lo general igual a 5.5 .

$F.S$: Factor de seguridad igual o superior a 1.5.

Se debe cumplir la condición:

$$\gamma_m \leq \gamma_{maxaceptable}$$

Si no se cumple esta condición se debe cambiar la altura de la goma en el paso 5.

21) Verificación de la estabilidad por pandeo

Las cargas de corte y compresión en combinación pueden producir el efecto de pandeo en el aislador. Este fenómeno hace que las laminas de acero no estén en paralelo, haciendo que las propiedades del aislador cambien. Como es el valor de la rigidez horizontal. Por ello se calcula la carga critica para la ocurrencia del pandeo con la ecuación 7.91:

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \text{ en Kg-f} \quad (7.91)$$

Donde:

$$P_s = G * A_s \text{ en Kg-f} \quad (7.92)$$

Donde:

P_s : Es la rigidez a corte efectiva por unidad de longitud.

A_s : Es el área de corte efectiva siendo su valor igual a:

$$A_s = A * \frac{H_i}{H_g} \text{ en cm}^2 \quad (7.93)$$

Donde:

H_i : Es la altura interna resultado de la combinación del acero mas la goma.

H_g : Es la altura total de la goma.

El incremento del área final es debido a la consideración de que las planchas de acero no se deforman en un sistema compuesto.

La rigidez al pandeo por efectos de compresión sin considerar corte se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_E = \frac{\pi^2 * (E * I)_{eff}}{H_i^2} \text{ en Kg-f} \quad (7.94)$$

$$(E * I)_{eff} = \frac{E_{ci} * I}{3} \quad (7.95)$$

Donde:

E_{ci} : Es el modulo de compresión de la unión acero mas goma.

I : Inercia de la sección del aislador.

El valor de I es igual a:

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{D_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right) \text{ en } cm^4 \quad (7.96)$$

Entonces la rigidez al pandeo es:

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_{ci} * I}{3 * H_i^2} \text{ en } Kg - f \quad (7.97)$$

Finalmente se debe cumplir la siguiente condición para verificar la estabilidad por pandeo:

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} \geq F.S \quad (7.98)$$

Por lo general el factor $F.S = 2$.

En caso de que no se cumpla esta condición se debe aumentar el diámetro del aislador.

22) Verificación de estabilidad por volcamiento

Para verificar la estabilidad por volcamiento se determina el desplazamiento máximo posible. Y estas condiciones se dan con la carga vertical mínima aplicada:

$$D_{max} = \frac{P_{min} D_e}{P_{min} + K_{hi} H_i} \text{ en } cm \quad (7.99)$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{D_{max}}{D_j} \geq F.S \quad (7.100)$$

El factor de seguridad $F.S$ es:

$F.S = 1$: Si el tipo de conexión es fija con pernos.

$F.S = 2$: Si el tipo de conexión es con llaves de corte o clavijas.

Donde:

P_{min} : Es la carga mínima existente.

D_e : Es el diámetro exterior del aislador.

D_j : Es el desplazamiento de diseño.

K_{hi} : Es la rigidez horizontal del aislador.

H_i : Es la altura interna del aislador es equivalente a a la suma de las altura de la goma mas las plancha de acero.

3. SISTEMA CON AISLADORES HDR1 EN COMBINACIÓN CON OTRO AISLADOR HDR2.

a) Datos

Se establecen los siguientes datos:

- 1) Amortiguamiento efectivo de aisladores tipo HDR1 β_{HDR1} .
- 2) Amortiguamiento efectivo de aisladores tipo HDR2 β_{HDR2} .
- 3) *Numero de aisladores sísmicos para cada tipo n_{HDR1} y n_{HDR2} .*

La suma de estos dos valores debe ser igual a la cantidad total de aisladores en el sistema N .

- 4) *Deformación de corte directa máxima y deformación de corte máxima admisible.*

Son equivalentes a la división de la deformación lateral del aislador entre su altura elástica (goma).

Son obtenidos de las propiedades de fabricación del aislador. Por lo general son $\gamma_{cd} = 150\%$ y $\gamma_{cma} = 250\%$.

Representan las máximas relaciones de deformación que pueden tener los aisladores. Utilizando γ_{cd} para diseños a regulares capacidades del aislador y γ_{cma} para diseños a máximas capacidades del aislador.

Sus unidades son %, pero al usar en el proceso de cálculo es dividido entre 100.

- 5) *Tipo de conexión.*

Existen dos tipos de conexión del aislador hacia la estructura: las llaves de corte (dowel type) o clavijas y el uso de pernos de anclaje.

Por lo general se usan los aisladores con conexión por medio de pernos de anclaje.

- 6) *Tensión admisible de compresión τ_{ac} .*

Son obtenidos de las características técnicas del fabricante.

- 7) *Diámetro interno D_i .*

Dimensión definida a elección del usuario.

b) Proceso

- 1) *Porcentaje de rigidez total efectiva de aisladores tipo HDR1 $\%KT_{HDR1}$ y HDR2 $\%KT_{HDR2}$.*

Consiste en el porcentaje que representa la rigidez total de los aisladores tipo HDR1 o HDR2 en la rigidez total del sistema.

Existen dos opciones para definir estos parámetros:

- Considerar que la rigidez se distribuye de acuerdo a la proporción de las cantidades de los aisladores:

En cuyo caso los porcentajes serian los siguientes.

$$\%KT_{HDR1} = \frac{n_{HDR1}}{N} * 100 \text{ en } \% \quad (7.101)$$

$$\%KT_{HDR2} = \frac{n_{HDR2}}{N} * 100 \text{ en } \% \quad (7.102)$$

- Considerar porcentajes de rigidez diferentes a la proporción de las cantidades de los aisladores.

2) *Calculo de la rigidez efectiva de cada tipo de aislador y la rigidez compuesta.*

La rigidez compuesta se obtiene por la siguiente ecuación:

$$K_{ht} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.103)$$

Luego se calcula la rigidez total para cada tipo de aislador:

$$KT_{HDR1} = \%KT_{HDR1} * K_{ht} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.104)$$

$$KT_{HDR2} = \%KT_{HDR2} * K_{ht} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.105)$$

La rigidez de cada tipo de aislador se calcula de la siguiente manera:

$$Ki_{HDR1} = KT_{HDR1}/n_{HDR1} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.106)$$

$$Ki_{HDR2} = KT_{HDR2}/n_{HDR2} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.107)$$

Si en caso para los porcentajes: $\%KT_{HDR1}$ y $\%KT_{HDR2}$ se usaron la proporción de las cantidades de los aisladores, los valores Ki_{HDR1} y Ki_{HDR2} son iguales. Y si no son diferentes.

- 3) *Valor del porcentaje de amortiguamiento efectivo del sistema aislado β_f y su correspondiente factor de reducción por amortiguamiento B_D .*

El porcentaje de amortiguamiento es el resultado de la unión de los efectos de los amortiguamientos y rigideces de cada tipo de aislador.

$$\beta_f = \frac{\beta_{HDR1} * n_{HDR1} * Ki_{HDR1} + \beta_{HDR2} * n_{HDR2} * Ki_{HDR2}}{K_{ht}} \text{ en } \% \quad (7.108)$$

Como se puede observar el amortiguamiento efectivo final es calculado en función a las rigideces y amortiguamientos. Este valor es usado de ahora en adelante como el de diseño para las dimensiones de los aisladores, principalmente el valor de los desplazamientos de diseño y la altura total de la goma.

Teniendo el amortiguamiento efectivo $\beta_f \%$ se procede a interpolar los valores de B_D usando el cuadro 4.13.

- 4) *Calculo del desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} , desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema aislado.*

Se calcula estos valores con las ecuaciones 4.31, 4.33, 4.37 y 4.38.

- 5) *Calculo del área del aislador A , diámetro externo D_e .*

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 4 en el caso HDR.

- 6) *Calculo de la altura total de la goma del aislador H_g .*

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 5 en el caso HDR.

- 7) *Se establece el espesor de la capa de goma t_g , número de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g .*

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 6 en el caso HDR.

- 8) *Calculo del modulo de corte G del aislador.*

■ En caso que $Ki_{HDR1} = Ki_{HDR2}$:

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 7 en el caso HDR.

Los módulos de corte obtenidos para cada tipo son iguales: G

▪ *En caso que $K_{iHDR1} \neq K_{iHDR2}$:*

El proceso es igual para los dos aisladores del mismo tipo, pero se realiza uno para cada uno. Y es equivalente al proceso del paso 7 en el caso HDR. La diferencia de rigideces requiere de diferentes módulos de corte.

Los módulos de corte obtenidos para cada tipo son diferentes: G_1 y G_2 .

9) ***Calculo del factor de forma S .***

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 8 en el caso HDR.

10) ***Se establece el espesor de la capa de acero t_s y se comprueba su resistencia a la tensión admisible.***

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 9 en el caso HDR.

11) ***Calculo de la altura interna H_i y la altura total del aislador H_T .***

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 10 en el caso HDR.

12) ***Calculo de la rigidez y frecuencia vertical K_v y f_v .***

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 11 en el caso HDR.

13) ***Se verifica la rigidez horizontal K_{hi} y el periodo objetivo T_D .***

Se recalcula la rigidez horizontal para cada tipo de aislador:

$$K_{iHDR1} = \frac{G1 * A}{H_g} \quad \text{en } kg - f/cm \quad (7.109)$$

$$K_{iHDR2} = \frac{G2 * A}{H_g} \quad \text{en } kg - f/cm \quad (7.110)$$

Ambos rigideces deben de ser iguales a las rigideces de cada tipo de

aislador supuesto inicialmente.

Con ellas se obtiene los periodos objetivo:

$$TD_{HDR1} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W * \%KT_{HDR1}}{n_{HDR1} * K_{hi} * g}} \text{ en Seg} \quad (7.111)$$

$$TD_{HDR2} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W * \%KT_{HDR2}}{n_{HDR2} * K_{hi} * g}} \text{ en Seg} \quad (7.112)$$

Ambos periodos deben de ser iguales al periodo objetivo del sistema supuesto inicialmente.

14) *Verificación por deformación angular máxima.*

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 13 en el caso HDR.

15) *Verificación por pandeo.*

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 14 en el caso HDR.

16) *Verificación por volcamiento.*

Debido a que los procesos son iguales para los dos aisladores del mismo tipo, son equivalentes al proceso del paso 15 en el caso HDR.

4. SISTEMA CON AISLADORES HDR EN COMBINACIÓN CON AISLADORES LRB.

a) **Datos**

Se establecen los siguientes datos:

- 1) Amortiguamiento efectivo de aisladores tipo HDR β_{HDR} .
- 2) Amortiguamiento efectivo de aisladores tipo LRB β_{LRB} .
- 3) *Numero de aisladores sísmicos para cada tipo n_{HDR} y n_{LRB} .*

La suma de estos dos valores debe ser igual a la cantidad total de aisladores en el sistema N

- 4) *Deformación de corte directa máxima y deformación de corte máxima admisible.*

Son equivalentes a la división de la deformación lateral del aislador entre su altura elástica (goma).

Son obtenidos de las propiedades de fabricación del aislador. Por lo general son $\gamma_{cd} = 150\%$ y $\gamma_{cma} = 250\%$.

Representan las máximas relaciones de deformación que pueden tener los aisladores. Utilizando γ_{cd} para diseños a regulares capacidades del aislador y γ_{cma} para diseños a máximas capacidades del aislador.

Sus unidades son %, pero al usar en el proceso de calculo es dividido entre 100.

5) ***Tipo de conexión.***

Existen dos tipos de conexión del aislador hacia la estructura: las llaves de corte (dowel type) o clavijas y el uso de pernos de anclaje. Por lo general se usan los aisladores con conexión por medio de pernos de anclaje.

6) ***Tensión admisible de compresión τ_{ac} .***

Son obtenidos de las características técnicas del fabricante.

7) Esfuerzo de fluencia del plomo σ_{yp} .

8) Diámetro interno D_i del aislador HDR.

b) **Proceso**

1) ***Porcentaje de rigidez total efectiva de aisladores tipo HDR y LRB $\%KT_{HDR}$ y $\%KT_{LRB}$.***

Consiste en el porcentaje que representa la rigidez total de los aisladores tipo HDR o LRB en la rigidez total del sistema.

Existen dos opciones para definir estos parámetros:

- Considerar que la rigidez se distribuye de acuerdo a la proporción de las cantidades de los aisladores:

En cuyo caso los porcentajes serian los siguientes.

$$\%KT_{HDR} = \frac{n_{HDR}}{N} * 100 \text{ en } \% \quad (7.113)$$

$$\%KT_{LRB} = \frac{n_{LRB}}{N} * 100 \text{ en } \% \quad (7.114)$$

- Considerar porcentajes de rigidez diferentes a la proporción de las cantidades de los aisladores.

2) *Calculo de la rigidez efectiva de cada tipo de aislador y la rigidez compuesta.*

La rigidez compuesta se obtiene por la siguiente ecuación:

$$K_{ht} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \text{ en kg - f/cm} \tag{7.115}$$

Luego se calcula la rigidez total para cada tipo de aislador:

$$KT_{HDR} = \%KT_{HDR} * K_{ht} \text{ en kg - f/cm} \tag{7.116}$$

$$KT_{LRB} = \%KT_{LRB} * K_{ht} \text{ en kg - f/cm} \tag{7.117}$$

La rigidez de cada tipo de aislador se calcula de la siguiente manera:

$$Ki_{HDR} = KT_{HDR}/n_{HDR} \text{ en kg - f/cm} \tag{7.118}$$

$$Ki_{LRB} = KT_{LRB}/n_{LRB} \text{ en kg - f/cm} \tag{7.119}$$

Si en caso para los porcentajes: $\%KT_{HDR}$ y $\%KT_{LRB}$ se usaron la proporción de las cantidades de los aisladores, los valores Ki_{HDR} y Ki_{LRB} son iguales. Y si no son diferentes.

3) *Para ambos: Valor del porcentaje de amortiguamiento efectivo del sistema aislado β_f y su correspondiente factor de reducción por amortiguamiento B_D .*

El porcentaje de amortiguamiento es el resultado de la unión de los efectos de los amortiguamientos y rigideces de cada tipo de aislador.

$$\beta_f = \frac{\beta_{HDR} * n_{HDR} * Ki_{HDR} + \beta_{LRB} * n_{LRB} * Ki_{LRB}}{K_{ht}} \text{ en \%} \tag{7.120}$$

Como se puede observar el amortiguamiento efectivo final es calculado en función a las rigideces y amortiguamientos.

Este valor es usado de ahora en adelante como el de diseño para las dimensiones de los aisladores, principalmente el valor de los desplazamientos de diseño y la altura total de la goma.

Teniendo el amortiguamiento efectivo $\beta_f \%$ se procede a interpolar los valores de B_D usando el cuadro 4.13.

- 4) *Para ambos: Calculo del desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} , desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema aislado.*

Se calcula estos valores con las ecuaciones 4.31, 4.33, 4.37 y 4.38.

- 5) *Para LRB: Calculo del diámetro posible del núcleo de plomo D_L , la fuerza característica de cada aislador Q_i y la fuerza característica total Q_t .*

Usando la ecuación 7.60 del caso LRB, se calcula el diámetro del núcleo de plomo. Entonces se sigue el mismo procedimientos del caso LRB en el paso 4.

- 6) *Calculo del área del aislador A , diámetro externo D_e .*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 4 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 5 del caso LRB.

- 7) *Calculo de la altura total de la goma del aislador H_g*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 5 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 6 del caso LRB.

- 8) *Calculo del espesor de la capa de goma t_g , numero de capas de goma n_c y el valor final de la altura total de la goma H_g .*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 6 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 7 del caso LRB.

- 9) *Calculo del modulo de corte G del aislador.*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 7 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 8 del caso LRB.

- 10) *Calculo del factor de forma S del aislador.*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 8 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 9 del



caso LRB.

- 11) *Se establece el espesor de la capa de acero t_s y se comprueba su resistencia a la tensión admisible.*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 9 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 10 del caso LRB.

- 12) *Para ambos: Calculo de la altura total H_T y la altura interna H_i .*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 10 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 11 del caso LRB.

- 13) *Para LRB: Se calcula la rigidez de postfluencia, la rigidez inicial y la rigidez efectiva.*

Se sigue el procedimiento del paso 12 del caso LRB.

- 14) *Para HDR: Se calcula la rigidez de efectiva final.*

Del paso 9 se obtiene el modulo de corte G para el aislador HDR. con ella se obtiene la rigidez efectiva real de este aislador con la ecuación:

$$K_{ef} = K_{hi} = \frac{G * A}{H_g} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.121)$$

- 15) *Para LRB: Se calcula el desplazamiento de fluencia, la fuerza de fluencia y la energía disipada.*

Se sigue el procedimiento del paso 13 del caso LRB.

- 16) *Para LRB: se calcula el amortiguamiento efectivo final β .*

El amortiguamiento efectivo final para el aislador LRB β_{LRB} es:

$$\beta_{LRB} = \frac{W_D}{2 * \Pi * K_{ef} * D_{TM}^2} \text{ en } \% \quad (7.122)$$

- 17) *Calculo de la rigidez compuesta del sistema de aislamiento.*

$$K_{efT} = K_{efHDR} * n_{HDR} + K_{efLRB} * n_{LRB} \text{ en } kg - f/cm \quad (7.123)$$

Este valor tiene que ser igual o muy próximo al valor inicialmente calculado: K_{ht} .

- 18) *Calculo del amortiguamiento final del sistema de aislamiento.*

$$\beta_f = \frac{\beta_{HDR} * n_{HDR} * K_{efHDR} + \beta_{LRB} * n_{LRB} * K_{efLRB}}{K_{efT}}$$

Este valor tiene que ser igual o muy próximo al valor inicialmente calculado: β_f .

- 19) *Calculo del coeficiente de amortiguamiento final del sistema de aislamiento.*

Teniendo el amortiguamiento efectivo final del sistema β_f se procede a interpolar los valores de B_D Usando el cuadro 4.13.

- 20) *Se calcula el periodo real del sistema de aislamiento T_D .*

$$T_D = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W}{K_{efT} * g}} \text{ en Seg} \quad (7.124)$$

Este valor tiene que ser igual o muy próximo al valor inicialmente supuesto: T_D .

- 21) *Calculo de la rigidez y frecuencia vertical K_v y f_v .*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 11 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 19 del caso LRB.

- 22) *Verificación de la estabilidad por deformación angular máxima.*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 13 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 20 del caso LRB.

- 23) *Verificación de la estabilidad por pandeo.*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 14 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 21 del caso LRB.

- 24) *Verificación de la estabilidad por volcamiento.*

Para el aislador HDR se sigue el procedimiento del paso 15 del caso HDR y para el aislador LRB se sigue el procedimiento del paso 22 del caso LRB.

DIAGRAMAS DE FLUJO DE DISEÑO

A continuación se presenta el diagrama de flujo del diseño de los cuatro casos de sistemas de aislamiento descritos.

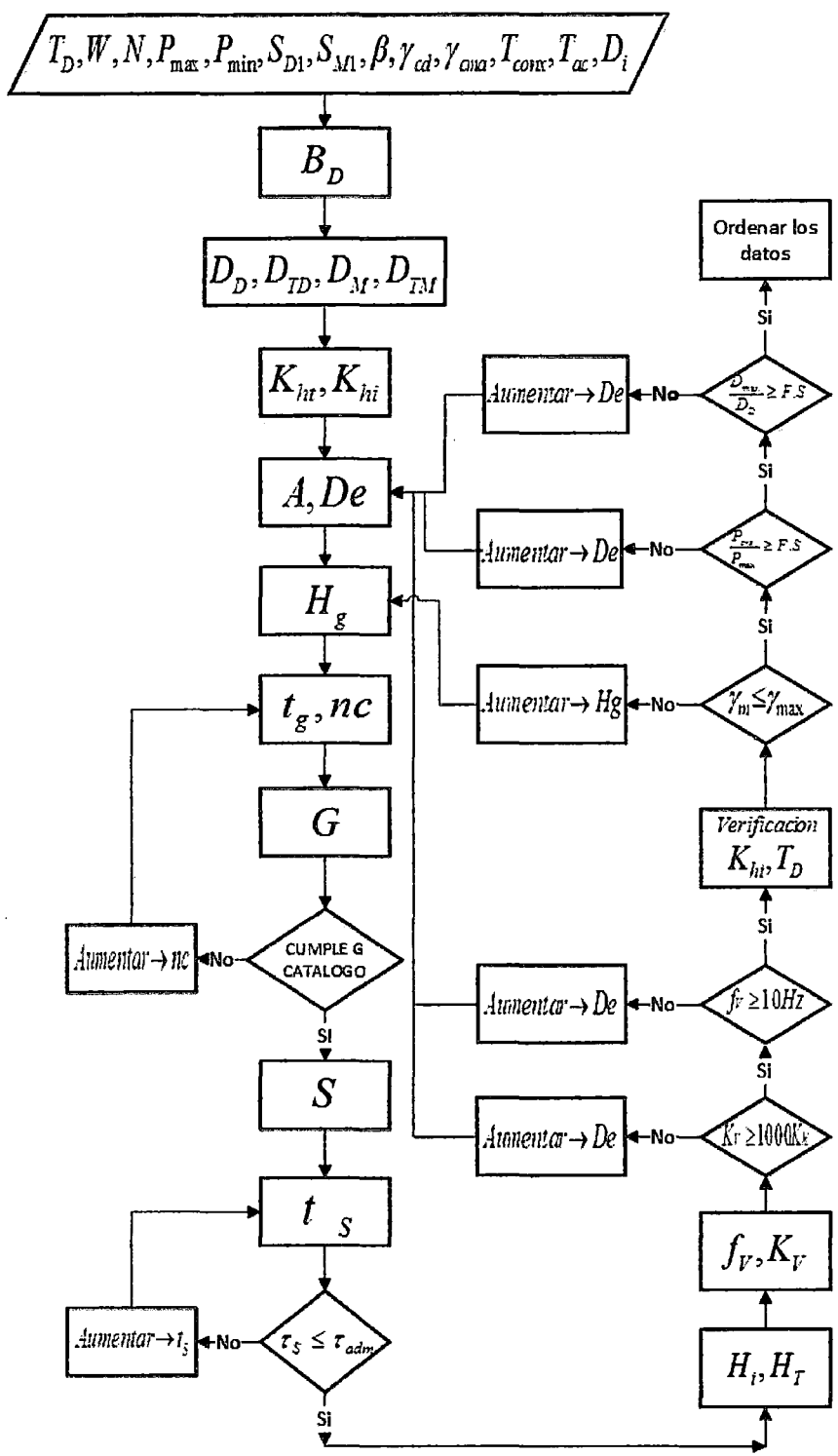


Figura 7.2. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento tipo HDR.

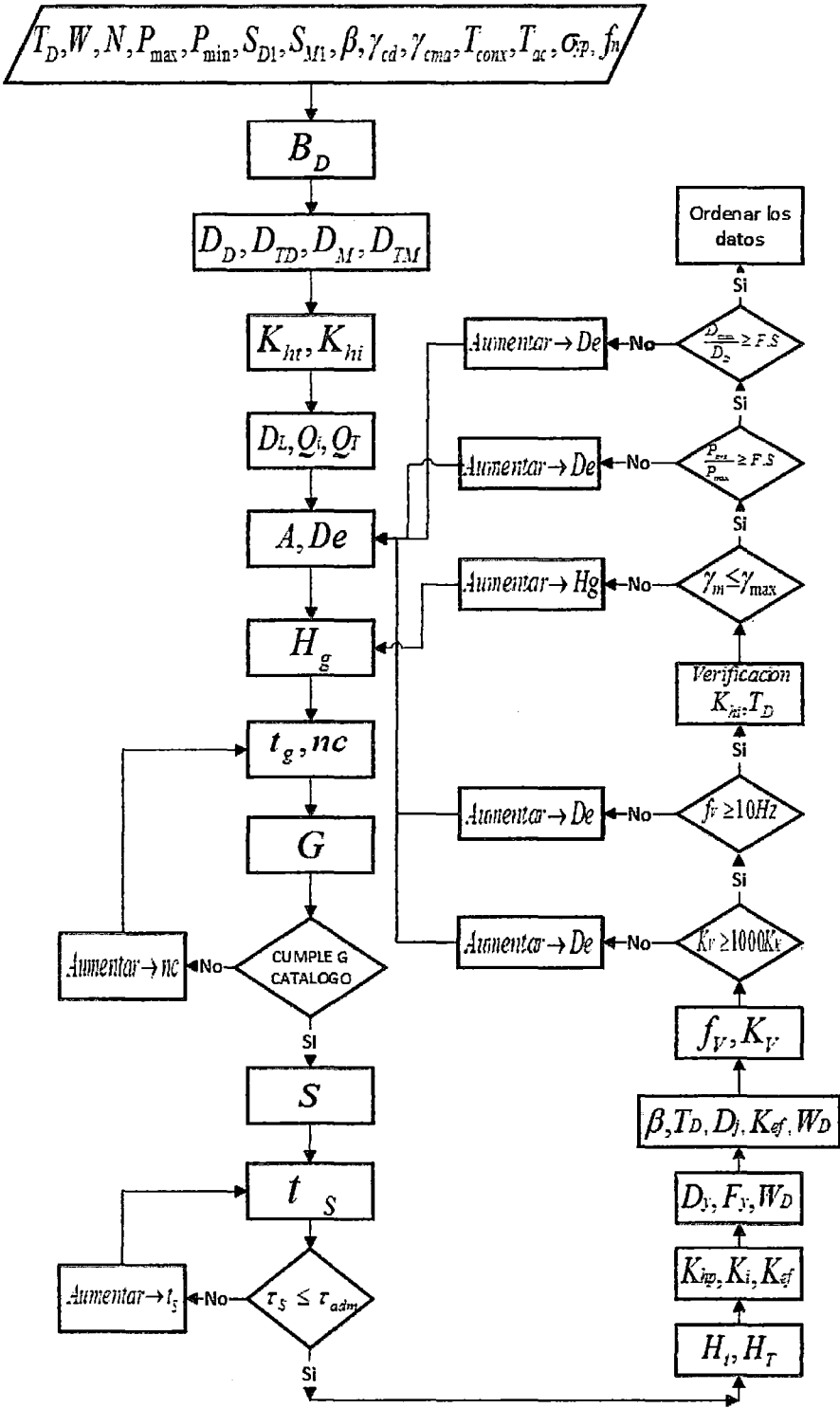


Figura 7.3. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento tipo LRB.

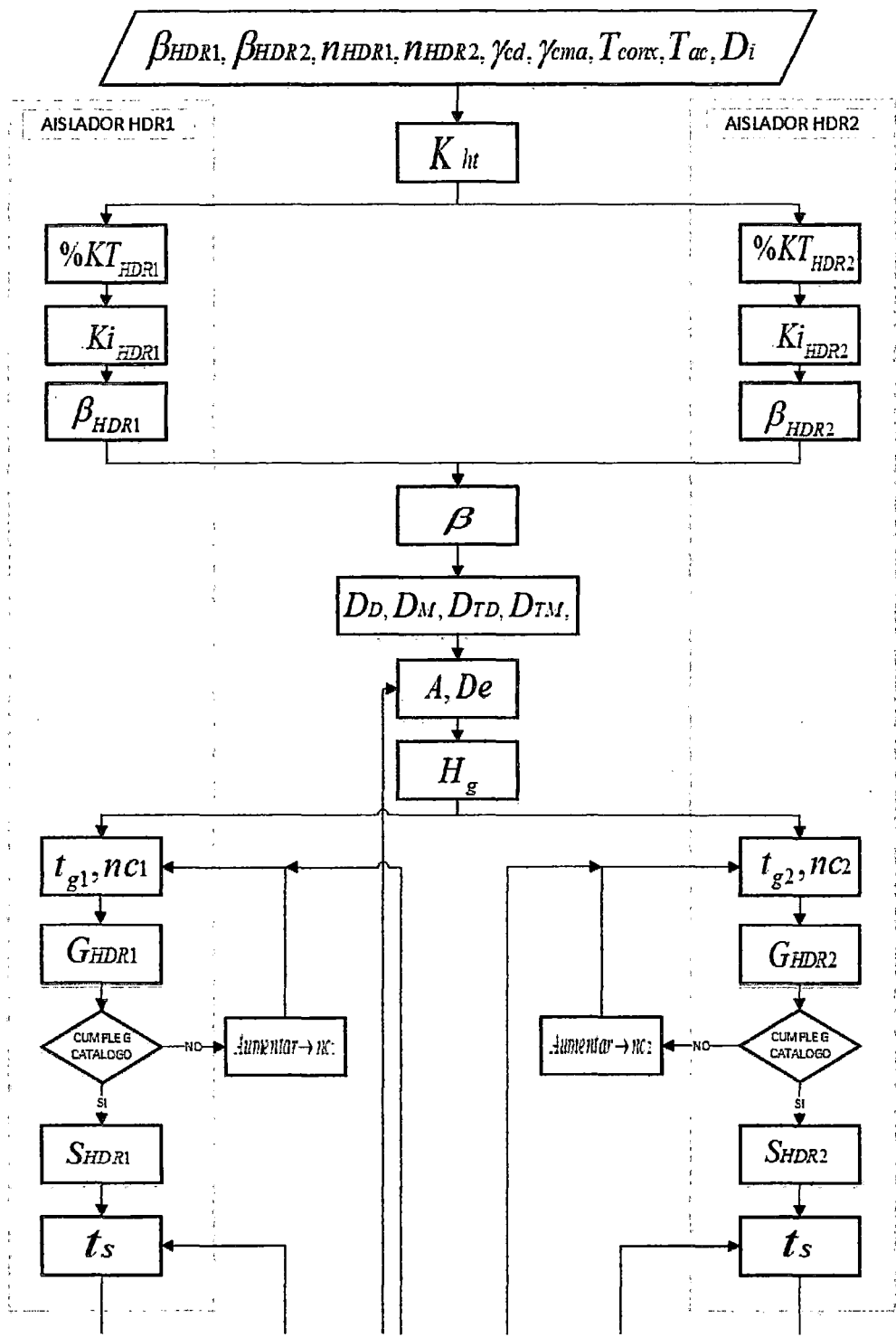


Figura 7.4. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento combinado de tipo HDR1 y HDR2 (Parte1).

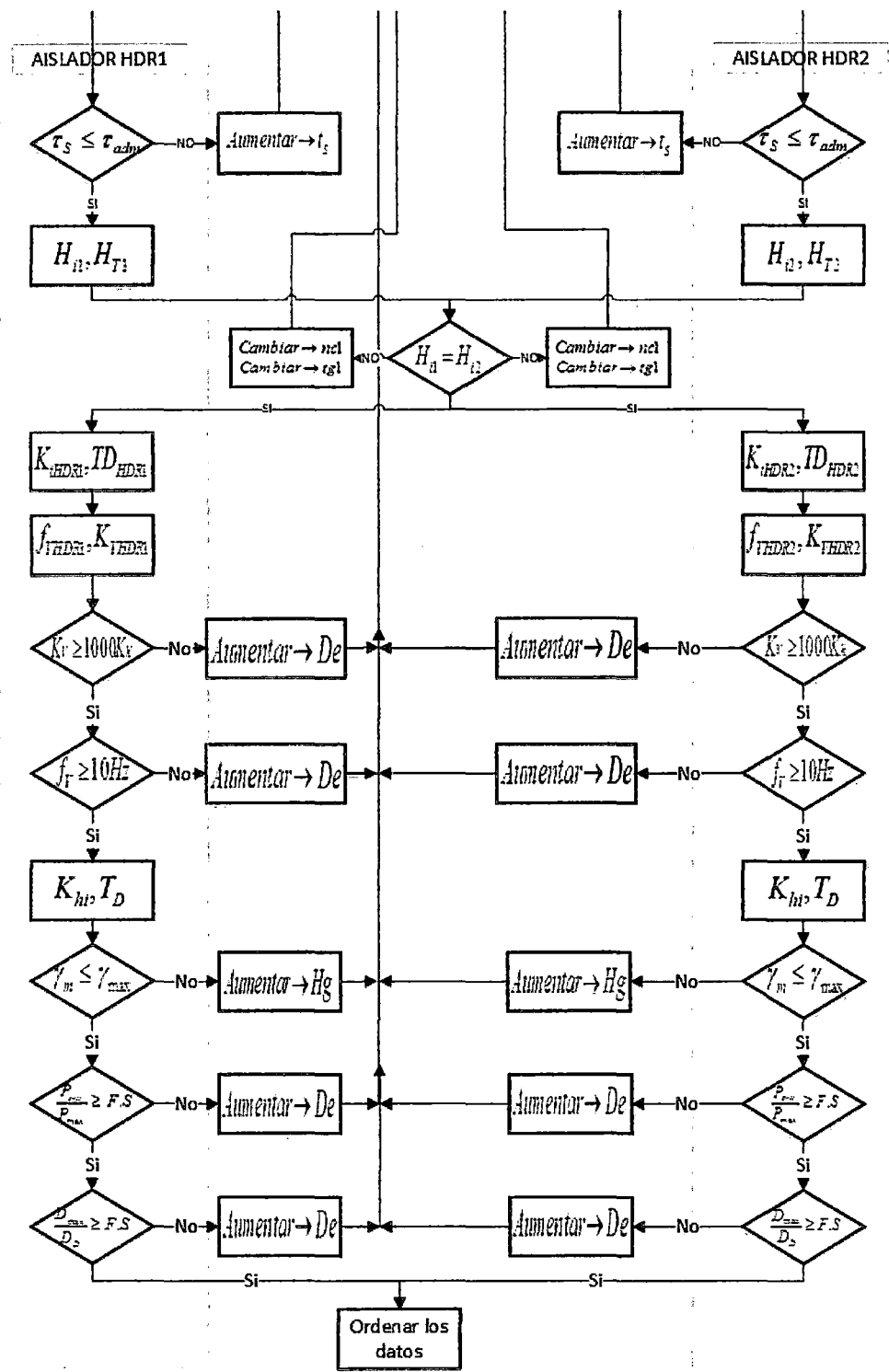


Figura 7.5. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento combinado de tipo HDR1 y HDR2 (Parte2).

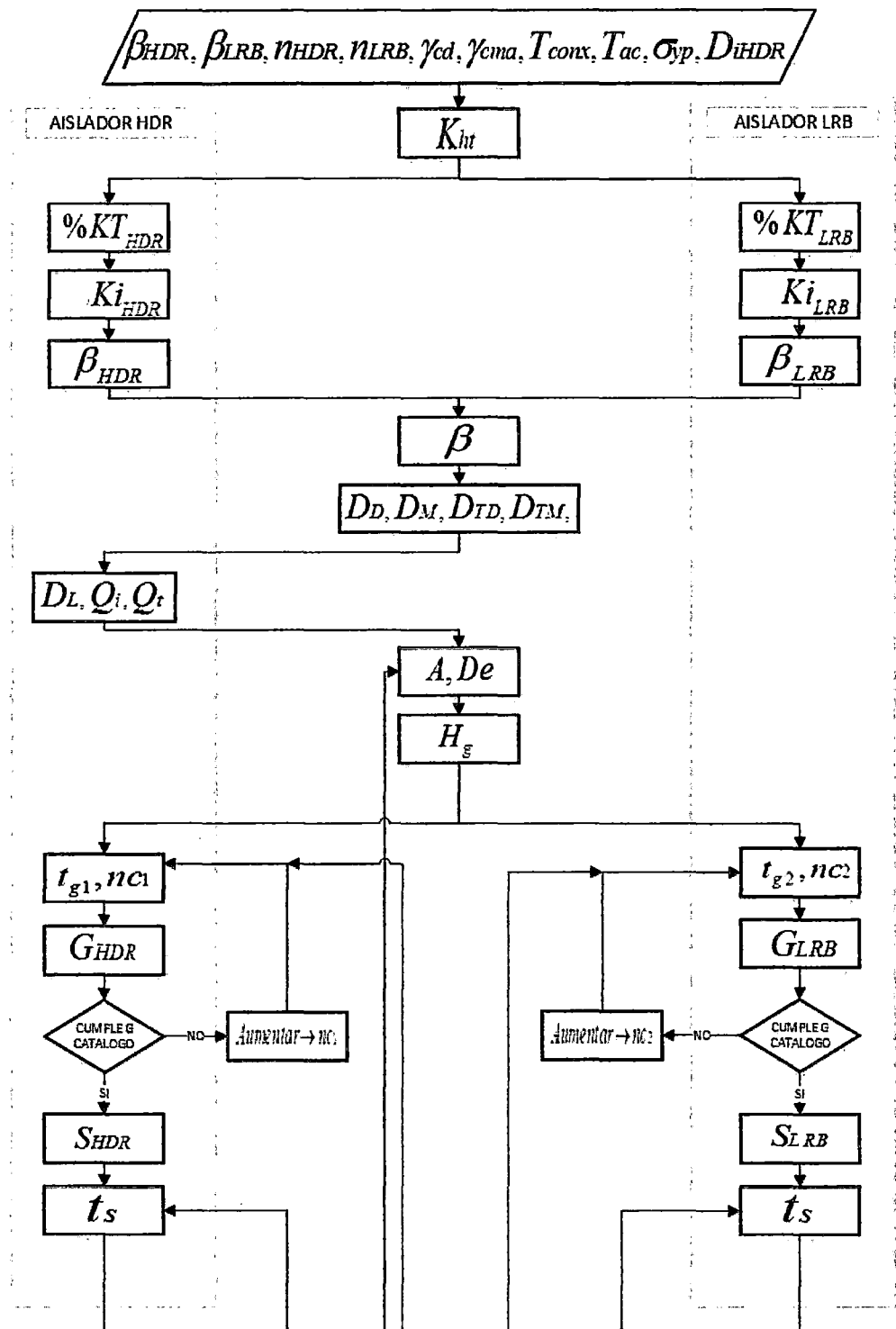


Figura 7.6. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento combinado de tipo LRB y HDR (Parte1).

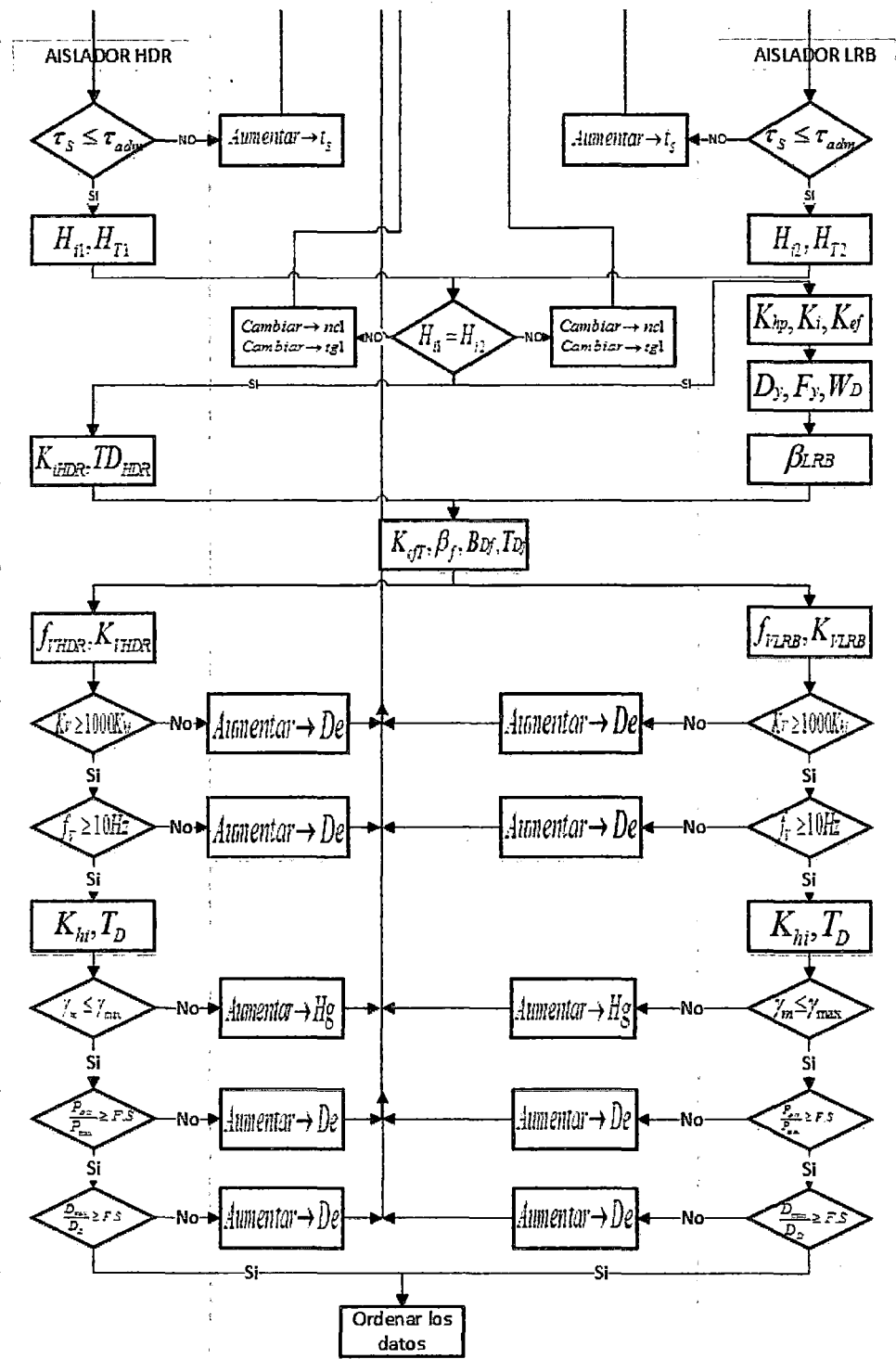


Figura 7.7. Diagrama de flujo de proceso de diseño de sistema de aislamiento combinado de tipo LRB y HDR (Parte2).

Capítulo 8

Modelación bilineal de los aisladores elastoméricos.

Los modelos histéricos son modelos matemáticos que son usados para representar la relación que existe entre la fuerza y el desplazamiento en un evento sísmico de carga y descarga. La curva que une los puntos pico en la curva carga-deflexión se llama curva de histéresis, la cual depende significativamente del tipo de material.

Los tipos de modelación para la curva de histéresis se clasifican dependiendo de la presencia o no de la pérdida de la capacidad de disipación de energía. Por ello se clasifican en modelos degradantes y no degradantes.

Los modelos degradantes son utilizados en elementos estructurales de concreto armado convencionales. En cuanto a los modelos no degradantes se encuentran entre los mas simples el modelo bilineal, usada para representar el comportamiento del acero y en este caso los aisladores elastoméricos.

El modelo que ha sido más aceptado para la investigación y diseño de una estructura con aisladores de base es el modelo bilineal, esto se debe a que caracteriza las propiedades mecánicas de los aisladores elastoméricos.

Para llevar a cabo el modelo bilineal de histéresis de un aislador sísmico, se deben

definir tres parámetros básicos:

- Rigidez elastica K_1
- Rigidez postfluencia K_2
- fuerza caracteristica a cero deformación Q

A partir de estos parámetros se definirán las propiedades bilineales y adicionalmente otros parámetros como el amortiguamiento efectivo, energía disipada; necesarios para el análisis en el programa ETABS V13. En la figura 8.1 se presenta un esquema de una representación bilineal.

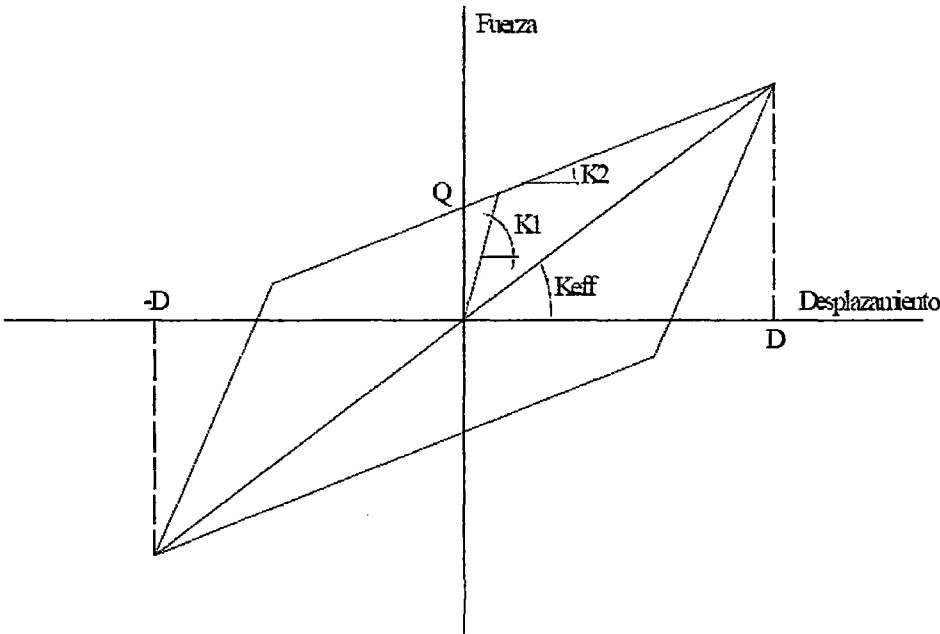


Figura 8.1. Parametros de la modelación bilineal.

Los procesos de obtención de la modelación bilineal para el aislador HDR y el LRB son casi similares sin embargo es necesario destacarlos.

1. *Modelación bilineal de aislador HDR.*

Con los datos del desplazamiento de diseño D_D , la rigidez efectiva K_{hi} y la altura total de la goma H_g se sigue el siguiente procedimiento:

- Se calcula el desplazamiento de fluencia:

$$D_y = 0,1 * H_g$$

- Se calcula la energía disipada por los aisladores: $W_D = 2 * \Pi * K_{hi} * D_D^2 * \beta$
- Se obtiene el valor de la fuerza característica a cero deformación Q despejando de la ecuación: $W_D = 4 * Q * (D - D_y)$
- Se obtiene la rigidez de postfluencia K_2 de la ecuación: $K_2 = K_{hi} - \frac{Q}{D}$
- Se obtiene la rigidez elástica K_1 despejando de la ecuación: $D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$
- Se obtiene la fuerza de fluencia de la ecuación: $F_y = Q + K_2 * D_y$
- Con los valores obtenidos se procede a graficar la curva de histéresis.

2. Modelación bilineal de aislador LRB.

Del procedimiento de diseño realizado a este tipo de aislador se obtiene los valores de:

- La rigidez horizontal: K_{hi}
- El desplazamiento de diseño: D_D
- La rigidez de postfluencia: K_2
- El desplazamiento de fluencia: D_y
- la fuerza característica a cero deformación Q
- La fuerza de fluencia de la ecuación: F_y

Se obtiene la rigidez elástica K_1 despejando de la ecuación: $D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$

Se calcula la energía total disipada por el aislador que es la suma de la contribución de la goma con el núcleo de plomo: $W_D^T = W_D^g + 4 * Q * D$. Siendo W_D^g la contribución del aislador solo de goma.

Capítulo 9

Uso del programa AISLAND V

1.0

Para hacer posible el diseño de los aisladores por métodos informáticos se presenta el programa AISLAND V 1.0.

Se presentan cuatro tipos de diseño disponibles, los cuales son:

1. Diseño de sistema de aislamiento con aisladores tipo HDR.
2. Diseño de sistema de aislamiento con aisladores tipo LRB.
3. Diseño de sistema de aislamiento con aisladores tipo HDR1 en combinación con HDR2
4. Diseño de sistema de aislamiento con aisladores tipo HDR en combinación con LRB

1. *Diseño de sistema de aislamiento con aisladores tipo HDR.*

a) **Ingreso al programa**

Ver figura 9.1

Con el botón siguiente se ingresa a la ventana de los datos iniciales.

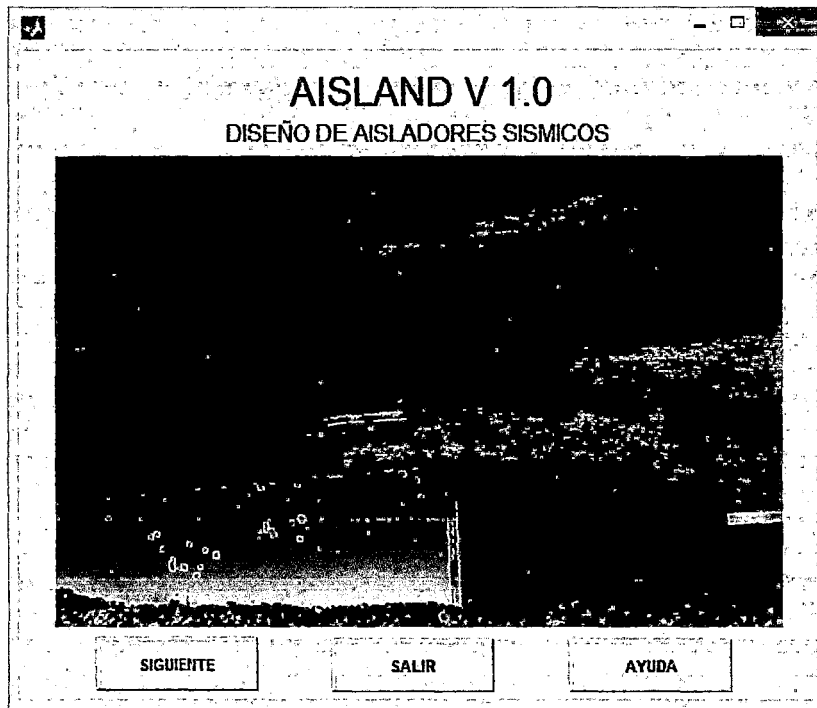


Figura 9.1. Ingreso al programa.

b) Ingreso de los datos iniciales

Ver figura 9.2

- 1) Se escoge la zona sísmica, de acuerdo al RNE E-030, a donde pertenece la estructura a diseñar.
- 2) Se escoge el tipo de suelo de acuerdo al RNE E-030. El programa presenta solo los tipos *S1* y *S2* por el requerimiento del aislamiento de asentarse en suclos regulares a buenos.
- 3) La categoría de la edificación para sistemas de aislamiento siempre es la unidad.
- 4) El periodo objetivo es determinado de acuerdo a los requerimientos del usuario.
- 5) Una vez definido los datos anteriores se presiona este botón para obtener los parámetros sísmicos de diseño.
- 6) Se escoge el tipo de sistema a diseñar, existiendo en esta opción los cuatro tipos de sistemas tocados en la presente tesis.
- 7) Se escoge el tipo de desplazamiento a utilizar para el diseño.
- 8) Se ingresa el numero total de aisladores del sistema propuesto.

- 9) Se ingresa el peso total de la estructura en unidades $kg - f$.
- 10) Este casillero se activa automáticamente con el nombre del tipo de diseño a realizar.
- 11) Este casillero se activa automáticamente con el numero de aisladores del diseño.
- 12) Se inserta el porcentaje de amortiguamiento deseado para el aislador a diseñar.
- 13) Una vez ingresado los datos arriba descritos se presiona este botón para seguir con el diseño.

c) Diseño del aislador HDR

Ver figura 9.3

- 1) Se ingresa la carga vertical máxima que es obtenida como la reacción máxima de la envolvente de las combinaciones de carga.
- 2) Se ingresa la carga vertical mínima que es obtenida como la reacción mínima de la envolvente de las combinaciones de carga.
- 3) Se ingresa la deformación de corte directa máxima definida por el usuario.
- 4) Se ingresa la deformación de corte máxima admisible definida por el usuario.
- 5) Se existe diámetro interior se ingresa dicho valor.
- 6) Se escoge el tipo de conexión entre el aislador y las estructuras en contacto. Por lo general se usa el tipo Fijo con pernos por ser mas segura.
- 7) Se ingresa el esfuerzo máximo a compresión de la goma a usar.
- 8) Se ingresa el esfuerzo máximo de fluencia del acero para la comprobación del esfuerzo máximo de las planchas intercaladas de acero.
- 9) El modulo de compresibilidad es una propiedad intrínseca de la goma.
- 10) La aceleración de la gravedad en cm/s^2
- 11) Una vez llenados los datos anteriores se presiona este botón para iniciar el diseño.
- 12) Después de acabado el diseño se presiona este botón para observar las propiedades geométricas del aislador diseñado.

- 13) Después de acabado el diseño se presiona este botón para observar las propiedades del modelamiento bilineal del aislador diseñado.
- 14) Se ingresa un diámetro asumido por el usuario, mayor al valor una celda arriba y redondeado a un diámetro trabajable.
- 15) Una vez ingresado el diámetro asumido se presiona este botón para continuar el diseño.
- 16) Se ingresa el espesor de capa de goma asumido, por lo general se encuentra entre 0.5 cm a 1 cm
- 17) Una vez ingresado el espesor de la capa de goma se presiona este botón para continuar el diseño.
- 18) Se ingresa la cantidad de capas de goma, este valor sera mayor al valor una celda arriba y redondeado a una cantidad trabajable.
- 19) Una vez ingresado la cantidad de capas de goma se presiona este botón para continuar el diseño.
- 20) Se introduce el valor del modulo de corte comercial que sea muy próximo al valor calculado dos casillas arriba.
- 21) Se ingresa el espesor de capa de acero asumido, por lo general se encuentra entre 0.3 cm a 0.5 cm
- 22) Una vez ingresado el espesor de las capas de acero se presiona este botón para continuar el diseño.
- 23) Se define automáticamente el espesor de las placas de acero interior superior e inferior.
- 24) El programa define automáticamente el espesor de las placas de acero superior e inferior que estarán en contacto con las estructuras. Esto se da debido a que están definidas en el catalogo del fabricante. En este caso la empresa DIS. (Ver catalogo en anexo B).
- 25) se presiona este botón para continuar el diseño.
- 26) Se verifica el cumplimiento de las condiciones de rigidez y frecuencia vertical, los cuales se resaltaran en color azul si son favorables y de color rojo si no lo son.
- 27) Se verifica que el periodo calculado no se aleje del periodo objetivo, se resaltara en color azul si es favorable y de color rojo si no lo es.

- 28) Se verifica el cumplimiento de las condiciones de la deformación angular máxima, los cuales se resaltarán en color azul si son favorables y de color rojo si no lo son.
- 29) se presiona este botón para continuar el diseño.
- 30) Se verifica el cumplimiento de las condiciones de pandeo, los cuales se resaltarán en color azul si son favorables y de color rojo si no lo son.
- 31) Se verifica el cumplimiento de las condiciones de volcamiento, los cuales se resaltarán en color azul si son favorables y de color rojo si no lo son.

2. *Diseño de sistema de aislamiento con aisladores tipo LRB.*

a) Ingreso al programa

Ver figura 9.1

Con el botón siguiente se ingresa a la ventana de los datos iniciales.

b) Ingreso de los datos iniciales

Ver figura 9.4

Los datos son parecidos al diseño del aislador tipo HDR, en la figura 9.2

c) Diseño del aislador LRB

Ver figura 9.5

- 1) Se ingresa la carga vertical máxima que es obtenida como la reacción máxima de la envolvente de las combinaciones de carga.
- 2) Se ingresa la carga vertical mínima que es obtenida como la reacción mínima de la envolvente de las combinaciones de carga.
- 3) Se ingresa la deformación de corte directa máxima definida por el usuario.
- 4) Se ingresa la deformación de corte máxima admisible definida por el usuario.
- 5) Se escoge el tipo de conexión entre el aislador y las estructuras en contacto. Por lo general se usa el tipo Fijo con pernos por ser mas segura.

- 6) Se ingresa el esfuerzo máximo a compresión de la goma a usar.
- 7) Se ingresa el esfuerzo máximo de fluencia del acero para la comprobación del esfuerzo máximo de las planchas intercaladas de acero.
- 8) El modulo de compresibilidad es una propiedad intrínseca de la goma.
- 9) El modulo de compresibilidad es una propiedad intrínseca del núcleo de plomo.
- 10) Se ingresa la tensión de fluencia del plomo
- 11) La aceleración de la gravedad en cm/s^2 .
- 12) Se ingresa el factor de amplificación de la rigidez inicial en comparación a la rigidez de postfluencia.
- 13) Una vez llenados los datos anteriores se presiona este botón para iniciar el diseño.
- 14) Después de acabado el diseño se presiona este botón para observar las propiedades geométricas del aislador diseñado.
- 15) Después de acabado el diseño se presiona este botón para observar las propiedades del modelamiento bilineal del aislador diseñado.
- 16) El programa calcula automáticamente el diámetro del núcleo de plomo necesario para obtener la rigidez efectiva.
- 17) Se ingresa un valor trabajable del diámetro de plomo, que sea muy próximo a el valor calculado un casillero arriba.
- 18) Una vez ingresado el diámetro asumido se presiona este botón para continuar el diseño.
- 19) Se ingresa un diámetro exterior asumido por el usuario, mayor al valor una celda arriba y redondeado a un diámetro trabajable.
- 20) Una vez ingresado el diámetro asumido se presiona este botón para continuar el diseño.
- 21) Se ingresa el espesor de capa de goma asumido, por lo general se encuentra entre 0.5 cm a 1 cm
- 22) Una vez ingresado el espesor de la capa de goma se presiona este botón para continuar el diseño.
- 23) Se ingresa la cantidad de capas de goma, este valor sera mayor al valor una celda arriba y redondeado a una cantidad trabajable.

- 24) Una vez ingresado la cantidad de capas de goma se presiona este botón para continuar el diseño.
- 25) Se introduce el valor del modulo de corte comercial que sea muy próximo al valor calculado dos casillas arriba.
- 26) Se ingresa el espesor de capa de acero asumido, por lo general se encuentra entre 0.3 cm a 0.5 cm
- 27) Una vez ingresado el espesor de las capas de acero se presiona este botón para continuar el diseño.
- 28) Se verifica que la tensión de fluencia de la plancha de acero sea mayor a la tensión de trabajo.
- 29) Se define automáticamente el espesor de las placas de acero interior superior e inferior.
- 30) El programa define automáticamente el espesor de las placas de acero superior e inferior que estarán en contacto con las estructuras. Esto se da debido a que están definidas en el catalogo del fabricante. En este caso la empresa DIS. (Ver catalogo en anexo B).
- 31) se presiona este botón para continuar el diseño.
- 32) Se calcula la rigidez de postfluencia, valor importante para el modelamiento bilineal del aislador.
- 33) Se calcula la rigidez efectiva, valor importante para el modelamiento bilineal del aislador.
- 34) Se calcula la rigidez inicial, valor importante para el modelamiento bilineal del aislador.
- 35) Se calcula el amortiguamiento efectivo final del sistema de aislamiento.
- 36) Se calcula el periodo real del sistema de aislamiento.
- 37) Se calcula el desplazamiento de diseño real del sistema de aislamiento.
- 38) Se calcula el porcentaje de deformación de corte real.
- 39) Se verifica el cumplimiento de las condiciones de rigidez y frecuencia vertical, los cuales se resaltarán en color azul si son favorables y de color rojo si no lo son.

- 40) Se verifica el cumplimiento de las condiciones de la deformación angular máxima, los cuales se resaltarán en color azul si son favorables y de color rojo si no lo son.
- 41) se presiona este botón para continuar el diseño.
- 42) Se verifica el cumplimiento de las condiciones de pandeo, los cuales se resaltarán en color azul si son favorables y de color rojo si no lo son.
- 43) Se verifica el cumplimiento de las condiciones de volcamiento, los cuales se resaltarán en color azul si son favorables y de color rojo si no lo son.

3. *Diseño de sistema de aislamiento con aisladores tipo HDR1 en combinación con HDR2*

a) Ingreso al programa

Ver figura 9.1

Con el botón siguiente se ingresa a la ventana de los datos iniciales.

b) Ingreso de los datos iniciales

Ver figura 9.6

- 1) Se escoge el tipo de diseño a realizar, en este caso: HDR(1)+HDR(2).
- 2) Se escoge el tipo de desplazamiento a utilizar para el diseño del sistema de aislamiento.
- 3) Se ingresa la cantidad total de aisladores a diseñar.
- 4) Se activa automáticamente esta casilla con el nombre del primer tipo de aislador a diseñar, en este caso: HDR1.
- 5) Se ingresa la cantidad de aisladores para el tipo HDR1.
- 6) Se ingresa el amortiguamiento efectivo en porcentaje del aislador tipo HDR1.
- 7) Se ingresa el porcentaje de rigidez que representa los aisladores del tipo HDR1 en la rigidez total del sistema.
- 8) Se activa automáticamente esta casilla con el nombre del primer tipo de aislador a diseñar, en este caso: HDR2.
- 9) Se ingresa la cantidad de aisladores para el tipo HDR2.

- 10) Se ingresa el amortiguamiento efectivo en porcentaje del aislador tipo HDR2.
- 11) Se ingresa el porcentaje de rigidez que representa los aisladores del tipo HDR2 en la rigidez total del sistema.
- 12) En caso que se requiera que las rigideces efectivas de ambos tipos de aislador sean iguales se presiona este botón y automáticamente se calculan los porcentajes de rigidez correspondientes a cada tipo de aislador. Estos porcentajes estarán en función a las cantidades de los aisladores por cada tipo.
- 13) Se presiona este botón para cargar los datos preliminares del sistema.
- 14) Una vez insertado los datos preliminares se obtiene por medio de este botón las mas importantes propiedades del sistema.
- 15) Se presiona este botón para diseñar el primer tipo de aislador:HDR1.
- 16) Se presiona este botón para diseñar el segundo tipo de aislador:HDR2.

c) Datos preliminares de diseño

Ver figura 9.7

En esta ventana se ingresan los datos de los dos aisladores. Los cuales ya han sido descritos en el procedimientos para el caso HDR.

d) Resultados de las propiedades generales del sistema

Ver figura 9.8

- 1) Se obtiene la rigidez compuesta del sistema.
- 2) Se obtiene el amortiguamiento efectivo del sistema.
- 3) Se muestra el periodo de diseño establecido.
- 4) Se obtiene la rigidez total del grupo de aisladores tipo HDR1.
- 5) Se obtiene la rigidez total del grupo de aisladores tipo HDR2.
- 6) Se obtiene la rigidez individual de un aislador tipo HDR1.
- 7) Se obtiene la rigidez individual de un aislador tipo HDR2.
- 8) Se obtiene el desplazamiento de diseño D_D .
- 9) Se obtiene el desplazamiento máximo D_M .
- 10) Se obtiene el desplazamiento total de diseño D_{TD} .
- 11) Se obtiene el desplazamiento total máximo D_{TM} .

e) Diseño del aislador tipo: HDR1

Ver figura 9.9

El proceso de diseño del aislador tipo HDR1 combinado es semejante al diseño del aislador HDR.

- 1) Los datos son iguales a los ingresados en la ventana de datos preliminares de diseño. Ya que fueron ingresados anteriormente las casillas son desactivadas.
- 2) Se calcula la rigidez horizontal individual del aislador HDR1
- 3) Se introduce el diámetro externo asumido y debe ser una dimensión existente en el catalogo del fabricante.
- 4) Se introduce el valor del modulo de corte asumido, la cual debe ser muy próximo al valor calculado dos casilleros arriba. Ademas debe ser un valor comercial.
- 5) La altura interna del aislador HDR1 debe ser igual a la altura interna del aislador HDR2.
- 6) La altura total del aislador HDR1 debe ser igual a la altura total del aislador HDR2.

f) Diseño del aislador tipo: HDR2

Ver figura 9.10

El proceso de diseño del aislador tipo HDR2 combinado es semejante al diseño del aislador HDR.

- 1) Los datos son iguales a los ingresados en la ventana de datos preliminares de diseño. Ya que fueron ingresados anteriormente las casillas son desactivadas.
- 2) Se calcula la rigidez horizontal individual del aislador HDR2
- 3) Se introduce el diámetro externo asumido y debe ser una dimensión existente en el catalogo del fabricante.
- 4) Se introduce el valor del modulo de corte asumido, la cual debe ser muy próximo al valor calculado dos casilleros arriba. Ademas debe ser un valor comercial.
- 5) La altura interna del aislador HDR1 debe ser igual a la altura interna del aislador HDR2.

- 6) La altura total del aislador HDR1 debe ser igual a la altura total del aislador HDR2.

4. *Diseño de sistema de aislamiento con aisladores tipo HDR en combinación con LRB*

a) **Ingreso al programa**

Ver figura 9.1

Con el botón siguiente se ingresa a la ventana de los datos iniciales.

b) **Ingreso de los datos iniciales**

Ver figura 9.11

- 1) Se escoge el tipo de diseño a realizar, en este caso: HDR+LRB.
- 2) Se escoge el tipo de desplazamiento a utilizar para el diseño del sistema de aislamiento.
- 3) Se ingresa la cantidad total de aisladores a diseñar.
- 4) Se activa automáticamente esta casilla con el nombre del primer tipo de aislador a diseñar, en este caso: HDR.
- 5) Se ingresa la cantidad de aisladores para el tipo HDR.
- 6) Se ingresa el amortiguamiento efectivo en porcentaje del aislador tipo HDR.
- 7) Se ingresa el porcentaje de rigidez que representa los aisladores del tipo HDR en la rigidez total del sistema.
- 8) Se activa automáticamente esta casilla con el nombre del primer tipo de aislador a diseñar, en este caso: LRB.
- 9) Se ingresa la cantidad de aisladores para el tipo LRB.
- 10) Se ingresa el amortiguamiento efectivo en porcentaje del aislador tipo LRB.
- 11) Se ingresa el porcentaje de rigidez que representa los aisladores del tipo LRB en la rigidez total del sistema.
- 12) En caso que se requiera que las rigideces efectivas de ambos tipos de aislador sean iguales se presiona este botón y automáticamente se calculan los porcentajes de rigidez correspondientes a cada tipo de

aislador. Estos porcentajes estarán en función a las cantidades de los aisladores por cada tipo.

- 13) Se presiona este botón para cargar los datos preliminares del sistema.
- 14) Una vez insertado los datos preliminares se obtiene por medio de este botón las mas importantes propiedades del sistema.
- 15) Se presiona este botón para diseñar el primer tipo de aislador:HDR.
- 16) Se presiona este botón para diseñar el segundo tipo de aislador:LRB.

c) Datos preliminares de diseño

Ver figura 9.12

En esta ventana se ingresan los datos de los dos aisladores. Los cuales ya han sido descritos en el procedimiento para el caso HDR y LRB.

d) Resultados de las propiedades generales del sistema

Ver figura 9.13

- 1) Se obtiene la rigidez compuesta del sistema.
- 2) Se obtiene el amortiguamiento efectivo del sistema.
- 3) Se muestra el periodo de diseño establecido.
- 4) Se obtiene la rigidez total del grupo de aisladores tipo HDR.
- 5) Se obtiene la rigidez total del grupo de aisladores tipo LRB.
- 6) Se obtiene la rigidez individual de un aislador tipo HDR.
- 7) Se obtiene la rigidez individual de un aislador tipo LRB.
- 8) Se obtiene el desplazamiento de diseño D_D .
- 9) Se obtiene el desplazamiento máximo D_M .
- 10) Se obtiene el desplazamiento total de diseño D_{TD} .
- 11) Se obtiene el desplazamiento total máximo D_{TM} .

e) Diseño del aislador tipo: HDR

Ver figura 9.14

El proceso de diseño del aislador tipo HDR combinado es semejante al diseño del aislador HDR.

- 1) Los datos son iguales a los ingresados en la ventana de datos preliminares de diseño. Ya que fueron ingresados anteriormente las casillas son desactivadas.

- 2) Se calcula la rigidez horizontal individual del aislador HDR
- 3) Se introduce el diámetro externo asumido y debe ser una dimensión existente en el catalogo del fabricante.
- 4) Se introduce el valor del modulo de corte asumido, la cual debe ser muy próximo al valor calculado dos casilleros arriba. Ademas debe ser un valor comercial.
- 5) La altura interna del aislador HDR debe ser igual a la altura interna del aislador LRB.
- 6) La altura total del aislador HDR debe ser igual a la altura total del aislador LRB.

f) Diseño del aislador tipo: LRB

Ver figura 9.15

El proceso de diseño del aislador tipo LRB combinado es semejante al diseño del aislador LRB.

- 1) Los datos son iguales a los ingresados en la ventana de datos preliminares de diseño. Ya que fueron ingresados anteriormente las casillas son desactivadas.
- 2) Se calcula la rigidez horizontal individual del aislador LRB
- 3) Se introduce el diámetro externo asumido y debe ser una dimensión existente en el catalogo del fabricante.
- 4) Se introduce el valor del modulo de corte asumido, la cual debe ser muy próximo al valor calculado dos casilleros arriba. Ademas debe ser un valor comercial.
- 5) La altura interna del aislador HDR debe ser igual a la altura interna del aislador LRB.
- 6) La altura total del aislador HDR debe ser igual a la altura total del aislador LRB.

5. *Propiedades geométricas del aislador diseñado.*

Ver figura 9.16

Para todos los casos de diseño descritos, una vez hecho el diseño se puede obtener las dimensiones finales del aislador, presionando en el botón *Propiedades*.

Se muestra en esta ventana las dimensiones finales y la configuración de los agujeros que tendrán las planchas superior e inferior en contacto con las estructuras.

6. *Propiedades de la modelación bilineal del aislador diseñado.*

Ver figuras 9.17 y 9.18

Para todos los casos de diseño descritos, una vez hecho el diseño se puede obtener las propiedades de la modelación bilineal del aislador, presionando en el botón *Histeresis*. Se muestra en la figura 9.17 los valores de las variables para la modelación y en la figura 9.18 el gráfico de la modelación.

AISLAND: DATOS INICIALES

1. PARAMETROS SISMICOS DE DISEÑO

Zona Sismica (Z) 1

Tipo de suelo (S) 2

Categoría de la edificación (U) 3

Periodo objetivo (Td) 4 Seg

Factor de amplificación sismica (C)

5

2. RESULTADOS PRELIMINARES

Factor de zona para SD1 (ZSD1)

Factor de zona para SM1 (ZSM1)

Factor por tipo de suelo (S)

Periodo por tipo de suelo (tp) Seg

Aceleración espectral de diseño (SD1)

Aceleración espectral máxima (SM1)

3. PROPIEDADES DEL SISTEMA

Tipo de diseño

Tipo de desplazamiento para diseño 7

Numero total de aisladores (N) 8 Und

Peso total de la estructura (W) 9 Kg-f

Aceleración de la gravedad (g) cm/s2

4. CANTIDADES Y DISEÑO FINAL

Tipo	Aislador	Cantidad	% Amort.	% Rigidez
1	HDR	37	10	100
2	HDR/LDR	12	20	50

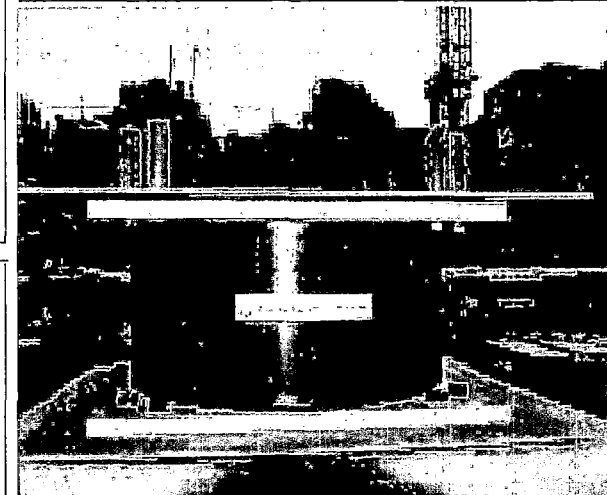
Automat...

Datos preliminares

Propiedades del sistema

13

(HDR) Aislador Elastomerico de Alto Amortiguamiento
(LRB) Aislador Elastomerico con Nucleo de Plomo
(LDR) Aislador Elastomerico de Bajo Amortiguamiento



Apoyos elastoméricos laminados, intercalando un conjunto de láminas de goma con delgadas placas de acero unidas por un proceso de vulcanización. La goma que además de entregar la flexibilidad y rigidez requerida, se diferencia de los elastómeros comunes por que posee como propiedad natural un alto amortiguamiento, logrado a través de agregar sustancias químicas al compuesto B=10 a 20%

7 AISLAND: DISEÑO DE AISLADORES TIPO HDR

DATOS		R. 02: Calculo de la rigidez horizontal		R. 06: Capa de acero		R. 10: Deformacion angular maxima	
Carga vertical maxima (Pmax)	264839.91 Kg-f 1	Rigidez horizontal total (Kht)	29017.8 Kg-f/cm	Dato:		Valor Eo	35
Carga vertical minima (Pmin)	38133.45 Kg-f 2	Rigidez horizontal aislador (Kh)	784.265 Kg-f/cm	Espesor de capa de acero (ts)	0.3 cm 21	Valor K	0.7
% Deformacion de corte directa maxima	200 % 3			Tension maxima de traccion en placas (Tmax)	ACEPTAR 22	Factor de seguridad	1.5
% Deformacion de corte maximo admisible	250 % 4			Tension admisible de traccion en placas (Tadm)	320 kg-f/cm2	Deformacion angular por corte	1.15316 grados
Diametro de seccion anular (di)	0 cm 5			Tmax < Tadm	1800 kg-f/cm2	Deformacion angular por compresion	0.481427 grados
Tipo de conexi3n	6 Fija (pernos) v	R. 03: Area y diametro del aislador		R. 07: Altura total del aislador		Deformacion angular maxima	1.63459 grados
Tension admisible de compresion (Tac)	7 80 Kg-f/cm2	Area del aislador (A)	3310.5 cm2	H goma+ laminas de acero	21.7 cm	Deformacion angular maxima admisible	3.11667 grados
Esfuerzo de fluencia del acero	8 2400 Kg-f/cm2	Diametro del aislador (De)	64.9234 cm	H placa interior de acero sup e Inf	2.5 cm 23	Cumple, Def ang. maxima < Def ang. admisible	28
Modulo de compresibilidad de goma	9 20000 Kg-f/cm2	Dato:		H placa exterior de acero sup e Inf	24 3.2 cm 1 1/4"	ACEPTAR	29
Aceleracion de la gravedad 11	10 981 cm/s2	Diametro asumido (De)	14 65 cm	Htotal= H goma+ laminas de acero + placa int sup e Inf + placa ext sup e Inf	33.1 cm		
ACEPTAR BORRAR SALIR		Area final de aislador (Af)	15 3318.32 cm2		ACEPTAR 25		
PROPIEDADES HISTERESIS 13		R. 04: Espesor de goma		R. 08: Rigidez y frecuencia vertical		R. 11: Verificacion al pandeo	
		Espesor total de goma (Hr)	9.2253 cm	Modulo de compresion acero + goma (Ec)	5781.42 kg-f/cm2	Carga critica (Pcrit)	769498 kg-f
		Dato:		Rigidez vertical (Kv)	1.19904e+06 kg-f/cm	Pcrit/Pmax	2.90552
		Espesor de capa de goma (tr)	0.8 cm 16	Frecuencia vertical (fv)	24.8828 Hz	Factor de seguridad (F.S)	2
		# capas de goma	17 11.5316 capas	Cumple Kv > 1000*Kh		Cumple la cond. de pandeo	30
		Dato:		Cumple fv > 10Hz	26		
		# capas de goma asumido	18 20 capas	R. 09: Verificacion del periodo objetivo		R. 12: Verificacion al volcamiento	
		Espesor total de goma final (Hr)	19 16 cm	Rigidez horizontal (Kh)	788.1 kg-f/cm	Desplazamiento maximo (Dmax)	44.9426 cm
		R. 05: Modulo de corte y Factor de forma		Periodo objetivo (Td)	1.99513 seg	Dmax/DD	2.43583
		Modulo de corte (G)	3.78151 kg-f/cm2	EI Td verificado esta proximo al Td objetivo	27	Factor de seguridad (F.S)	1
		Factor de forma (S)	20.3125 20			Cumple verif. al volteo	31
		Modulo de corte comercial (G)	3.80 kg-f/cm2				
R. 01: Desplazamiento de diseo y maximo							
Cf. reduc amortiguamiento (Bd)	1.2						
Desplazamiento de diseo (DD)	11.1822 cm						
Desplazamiento maximo (DM)	16.7733 cm						
Desplazamiento total de diseo (DTD)	12.3004 cm						
Desplazamiento total maximo (DTM)	18.4506 cm						

Figura 9.3. Diseo del aislador HDR

AISLAND: DATOS INICIALES

1. PARAMETROS SISMICOS DE DISEÑO

Zona Sismica (Z)

Tipo de suelo (S)

Categoría de la edificación (U)

Periodo objetivo (Td) Seg

Factor de amplificación sismica (C)

Parametros

2. RESULTADOS PRELIMINARES

Factor de zona para SD1 (ZSD1)

Factor de zona para SM1 (ZSM1)

Factor por tipo de suelo (S)

Periodo por tipo de suelo (tp) Seg

Aceleración espectral de diseño (SD1)

Aceleración espectral máxima (SM1)

3. PROPIEDADES DEL SISTEMA

Tipo de diseño

Tipo de desplazamiento para diseño

Numero total de aisladores (N) Und

Peso total de la estructura (W) Kg-f

Aceleración de la gravedad (g) cm/s2

4. CANTIDADES Y DISEÑO FINAL

Tipo	Aislador	Cantidad	% Amort.	% Rigidez
1	LRB	37	20	100
2	HDR/LDR	25	10	50

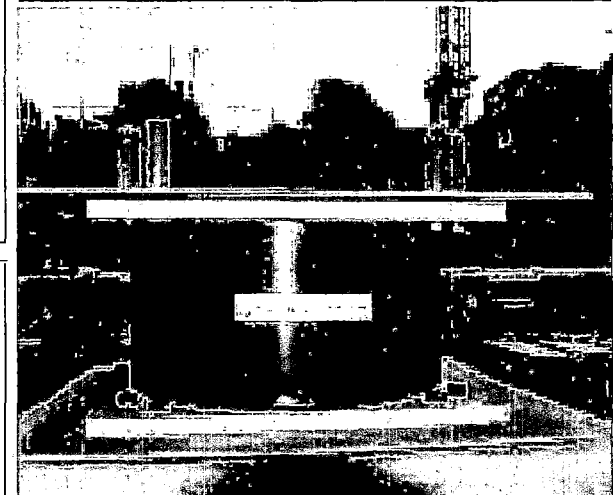
Automat...

Datos preliminares

Propiedades del sistema

Diseño Aislador 1 Diseño Aislador 2

(HDR) Aislador Elastomerico de Alto Amortiguamiento
 (LRB) Aislador Elastomerico con Nucleo de Plomo
 (LDR) Aislador Elastomerico de Bajo Amortiguamiento



Apoyos elastoméricos laminados, intercalando un conjunto de láminas de goma con delgadas placas de acero unidas por un proceso de vulcanización. La goma que además de entregar la flexibilidad y rigidez requerida, se diferencia de los elastómeros comunes por que posee como propiedad natural un alto amortiguamiento, logrado a través de agregar sustancias químicas al compuesto B=10 a 20%

BORRAR

SALIR

AYUDA

AISLAND: DISEÑO DE AISLADOR TIPO LRB

DATOS	
Carga vertical maxima (Pmax)	264839.91 Kg-f 1
Carga vertical minima (Pmin)	38133.45 Kg-f 2
% Deformacion de corte directa maxima	200 % 3
% Deformacion de corte maximo admisible	250 % 4
Tipo de conexon	5 Fija (pernos) v
Tension admisible de compresion (T _{ac})	6 80 Kg-f/cm ²
Esfuerzo de fluencia del	7 2400 Kg-f/cm ²
Modulo de compresibilidad de goma	8 20000 Kg-f/cm ²
Modulo de compresibilidad del plomo	9 140000 Kg-f/cm ²
Tension de fluencia del plomo	10 100 kg/cm ²
Aceleracion de la gravedad	11 981 cm/s ²
Factor de amplificacion de rigidez inicial H=K _i /K _p	12 10
ACEPTAR 13 BORRAR SALIR	
PROPIEDADES HISTERESIS 15	
R.01:Desplazamiento de diseño y maximo Cf. reduc amortiguamiento (Bd) 1.5 cm Desplazamiento de diseño (DD) 8.94574 cm Desplazamiento maximo (DM) 13.4186 cm Desplazamiento total de diseño (DTD) 9.84032 cm Desplazamiento total maximo (DTM) 14.7605 cm	
R.02: Calculo de la rigidez horizontal Rigidez horizontal total (Kht) 29017.8 Kg-f/cm Rigidez horizontal aislador (Kh) 784.265 Kg-f/cm	
R.03: Capac. de aislador a def. cero y diam. interno Diametro de plomo calculado (dp) 7.00132 cm 16 Diametro de plomo asumido (Dpf) 7.0 cm 17 Area del nucleo de plomo (Ap) 38.4846 cm ² Capacidad a def. cero final (Qi) 3848.46 Kg-f 18 ACEPTAR	
R.04: Area y diametro del aislador Area del aislador (A) 3310.5 cm ² Diametro del aislador (De) 65.2997 cm Dato: 19 70 cm Diametro asumido (De) 70 cm Area final de aislador (Af) 3809.98 cm ² 20 ACEPTAR	
R.05: Espesor de goma Espesor total de goma (Hr) 7.38024 cm Espesor de capa de goma (tr) 21 0.8 cm 22 ACEPTAR # capas de goma 9.2253 cap Dato: 23 18 cap # capas de goma asumido 18 cap Espesor total de goma final (Hr) 14.4 cm 24 ACEPTAR	
R.06:Modulo de corte y Factor de forma Modulo de corte (G) kg-f/cm ² 1.97874 Factor de forma (S) 21.6563 Modulo de corte comercial kg-f/cm ² 2.0 25	
R.07:Capa de acero Espesor de capa de acero (ts) 26 0.3 cm 27 ACEPTAR	
R.07: Capa de acero Tension maxima de traccion en placas (T _{max}) 320 kg-f/cm ² Tension admisible de traccion en placas (T _{adm}) 1800 kg-f/cm ² Cumple T _{max} <T _{adm} 28	
R.08:Altura total del aislador H goma+ laminas de acero 19.5 cm H placa exterior de acero Sup e Inf 29 3.2 cm 1 1/4" H placa interior de acero Sup e Inf 30 2.5 cm H total= H goma+ laminas de acero + placa sup e inf 30.9 cm ACEPTAR 31	
R.09:Rig. postfluencia ,Rigidez inicial y Rigidez efectiva Rigidez postfluencia (Kp) 32 529.163 kg-f/cm Rigidez efectiva (K _{eff}) 33 790.108 kg-f/cm Rigidez inicial (Ki) 34 5291.63 Kg-f/cm	
R.10:Desplazamiento de fluencia y fuerza de fluencia Desplazamiento de fluencia (Dy) 0.808081 cm Fuerza de fluencia (Fy) 4276.07 kg-f Energia disipada (Vd) 214592 kg-f Amortiguamiento efectivo final (B) 19.8631 %35 Coeficiente de amortiguamiento final (Bd) 1.49589 Fuerza caracteristica del plomo (Q) 3848.46 kg-f	
R.11:Propiedades finales del sistema Periodo real del sistema (Td) 1.99287 seg 36 Desplazamiento total maximo final (DTM) 14.7482 cm 37 Def. a corte de diseño final (Ocd) 1.02418 38	
R.12:Rigidez y frecuencia vertical Modulo de compresion acero + goma (E _c) 3550.3 kg-f/cm ² Rigidez vertical (Kv) 1.21564e+06 kg-f/cm Frecuencia vertical (fv) 26.6239 Hz Cumple fv > 10Hz 39	
R.13: Deformacion angular maxima Valor E _o 35 Valor K 0.7 Factor de seguridad 1.5 Deformacion angular por corte 1.02418 grados Deformacion angular por compresion 0.451649 grados Deformacion angular maxima 1.47583 grados Deformacion angular maxima admisible 3.11667 grados Cumple Def ang. maxima < Def ang.admisible 40 ACEPTAR 41	
R.14:Verificacion al pandeo Carga critica (P _{crit}) 606030 kg-f P _{crit} /P _{max} 2.28829 Factor de seguridad (F.S.) 2 Cumple la cond. de pandeo: P _{crit} /P _{max} > F.S. 42	
R.15:Verificacion al volcamiento Desplazamiento maximo (D _{max}) 49.8604 cm D _{max} /DTM 3.38078 Factor de seguridad (F.S.) 1 Cumple verif. al volteo: D _{max} /DTM > F.S. 43	

Figura 9.5. Diseño del aislador LRB

Figura 9.6. Ingreso de los datos iniciales

AISLAND: DATOS INICIALES

1. PARAMETROS SISMICOS DE DISEÑO

Zona Sismica (Z) 2 ▼

Tipo de suelo (S) S2 ▼

Categoría de la edificación (U) 1.0

Periodo objetivo (Td) 2.0 Seg

Factor de amplificación sismica (C) 0.75

Parametros

3. PROPIEDADES DEL SISTEMA

Tipo de diseño 1 HDR(1)+ HD... ▼

Tipo de desplazamiento para diseño DTM(Despla... ▼ 2

Numero total de aisladores (N) 3 37 Und

Peso total de la estructura (W) 2884243.72 Kg-f

Aceleracion de la gravedad (g) 981 cm/s2

2. RESULTADOS PRELIMINARES

Factor de zona para SD1 (ZSD1) 0.3

Factor de zona para SM1 (ZSM1) 0.45

Factor por tipo de suelo (S) 1.2

Periodo por tipo de suelo (Tp) 0.6 Seg

Aceleracion espectral de diseño (SD1) 0.27

Aceleracion espectral maxima (SM1) 0.405

4. CANTIDADES Y DISEÑO FINAL

	4 Tipo Aislador	5 Cantidad	6 % Amort.	7 % Rigidez
1	HDR(1)	12	20	32.4324
2	HDR(2)	25	10	67.5676
	8	9	10	Automat..

13 Datos preliminares
14 Propiedades del sistema

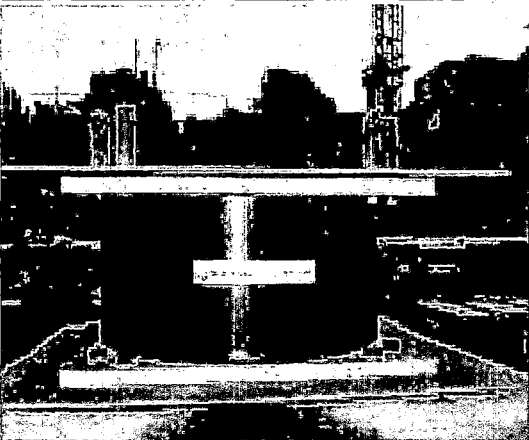
15 Diseño Aislador 1
16 Diseño Aislador 2

BORRAR
SALIR
AYUDA

(HDR) Aislador Elastomerico de Alto Amortiguamiento ^

(LRB) Aislador Elastomerico con Nucleo de Plomo

(LDR) Aislador Elastomerico de Bajo Amortiguamiento v



AISLAND: DISEÑO PRELIMINAR

Archivo Edicion Ayuda

DATOS

<i>Datos generales</i>			<i>Datos aislador tipo HDR (1)</i>			<i>Datos aislador tipo HDR(2)</i>		
Carga vertical maxima (Pmax)	264839.91	Kg-f	% Deformacion de corte maximo admisible	250	%	% Deformacion de corte maximo admisible	250	%
Carga vertical minima (Pmin)	38133.45	Kg-f	Diametro de seccion anular (di)	0	cm	Diametro de seccion anular (di)	0	Kg-f/cm2
Aceleracion de la gravedad	981	cm/s2	Tension admisible de compresion (Tac)	80	Kg-f/cm2	Tension admisible de compresion (Tac)	80	Kg-f/cm2
Tipo de conexion	Fija (pernos)		Modulo de compresibilidad de goma	20000	Kg-f/cm2	Modulo de compresibilidad de goma	20000	Kg-f/cm2
Esfuerzo de fluencia del acero	2400	Kg-f/cm2						
% Deformacion de corte directa maxima	200	%						

Figura 9.7. Datos preliminares de diseño

Figura 9.8. Resultados de las propiedades generales del sistema



RESULTPREV

PROPIEDADES GENERALES DEL SISTEMA

Rigidez compuesta (Kcomp)	1	29017.8	Kgf/cm	Desplazamiento de diseño (Dd)	8	10.3435	cm
Amortiguamiento promedio (Bprom)		13.2432	%	Desplazamiento maximo (Dm)	9	15.5153	cm
Periodo de diseño (Td)	3	2	Seg	Desplazamiento total de diseño (Dtd)		11.3779	cm
Rigidez total aisladores tipo 1 (KT1)	4	9411.17	Kgf/cm	Desplazamiento total maximo (Dtm)		17.0668	cm
Rigidez total aisladores tipo 2 (KT2)	5	19606.6	Kgf/cm				
Rigidez individual aislador tipo 1 (Ki1)		784.265	Kgf/cm		6		
Rigidez individual aislador tipo 2 (Ki2)		784.266	Kgf/cm		7		

ACEPTAR

SALIR

AISLAND: DISEÑO DE AISLADORES TIPO HDR(1)

DATOS		
Carga vertical maxima (Pmax)	264840	Kg-f
Carga vertical minima (Pmin)	38133.4	Kg-f
% Deformacion de corte directa maxima	200	%
% Deformacion de corte maximo admisible	250	%
Diametro de seccion anular (di)	0	cm
Tipo de conexion	1 Fija (pernos)	
Tension admisible de compresion (T _{ac})	80	Kg-f/cm ²
Esfuerzo de fluencia del acero	2400	Kg-f/cm ²
Modulo de compresibilidad de goma	20000	Kg-f/cm ²
Aceleracion de la gravedad	981	cm/s ²
ACEPTAR BORRAR SALIR		
PROPIEDADES HISTERESIS		

R.01: Desplazamiento de diseño y maximo		
Cf. reduc amortiguamiento (Bd)	1.2973	
Desplazamiento de diseño (DD)	10.3435	cm
Desplazamiento maximo (DM)	15.5153	cm
Desplazamiento total de diseño (DTD)	11.3779	cm
Desplazamiento total maximo (DTM)	17.0668	cm

R.02: Calculo de la rigidez horizontal		
Rigidez horizontal total (K _{ht})	2 9411.17	Kg-f/cm
Rigidez horizontal aislador (K _h)	784.265	Kg-f/cm

R.03: Area y diametro del aislador		
Area del aislador (A)	3310.5	cm ²
Diametro del aislador (D _e)	64.9234	cm
Dato:		
Diametro asumido (D _e)	3 65	cm
Area final de aislador (A _f)	3318.32	cm ²
ACEPTAR		

R.04: Espesor de goma		
Espesor total de goma (H _r)	8.5334	cm
Dato:		
Espesor de capa de goma (tr)	0.8	cm
ACEPTAR		
# capas de goma	10.6667	capas
Dato:		
# capas de goma asumido	20	capas
Espesor total de goma final (H _r)	16	cm
ACEPTAR		

R.05: Modulo de corte y Factor de forma		
Modulo de corte (G)	3.78151	kg-f/cm ²
Factor de forma (S)	4 20.3125	
Modulo de corte comercial (G)	3.80	kg-f/cm ²

R.06: Capa de acero		
Dato:		
Espesor de capa de acero (ts)	0.3	cm
ACEPTAR		
Tension maxima de traccion en placas (T _{max})	320	kg-f/cm ²
Tension admisible de traccion en placas (T _{adm})	1800	kg-f/cm ²
T _{max} < T _{adm}		

R.07: Altura total del aislador		
H goma+ laminas de acero	21.7	cm 5
H placa interior de acero sup e inf	2.5	cm
H placa exterior de acero sup e inf	3.2	cm 1 1/4"
H _{total} = H goma+ laminas de acero + placa int sup e inf + placa ext sup e inf	33.1	cm 6
ACEPTAR		

R.08: Rigidez y frecuencia vertical		
Modulo de compresion acero + goma (E _c)	5781.42	kg-f/cm ²
Rigidez vertical (K _v)	1.19904e+06	kg-f/cm
Frecuencia vertical (fv)	24.8828	Hz
Cumple K _v > 1000*K _h		
Cumple fv > 10Hz		

R.09: Verificacion del periodo objetivo		
Rigides horizontal (K _h)	788.1	kg-f/cm
Perido objetivo (T _d)	1.99513	seg
El T _d verificado esta proximo al T _d objetivo		

R.10: Deformacion angular maxima		
Valor E _o	35	
Valor K	0.7	
Factor de seguridad	1.5	
Deformacion angular por corte	1.06667	grados
Deformacion angular por compresion	0.481427	grados
Deformacion angular maxima	1.5481	grados
Deformacion angular maxima admisible	3.11667	grados
Cumple Def ang. maxima < Def ang. admisible		
ACEPTAR		

R.11: Verificacion al pandeo		
Carga critica (P _{crit})	769498	kg-f
P _{crit} /P _{max}	2.90552	
Factor de seguridad (F.S)	2	
Cumple la cond. de pandeo		

R.12: Verificacion al volcamiento		
Desplazamiento maximo (D _{max})	44.9426	cm
D _{max} /DD	2.63333	
Factor de seguridad (F.S.)	1	
Cumple verif. al volteo		

Figura 9.9. Diseño del aislador tipo: HDR1

Figura 9.10. Diseño del aislador tipo: HDR2

AISLAND: DISEÑO DE AISLADORES TIPO HDR(2)			
DATOS			
Carga vertical maxima (Pmax)	264840	Kg-f	1
Carga vertical minima (Pmin)	38133.4	Kg-f	
% Deformacion de corte directa maxima	200	%	
% Deformacion de corte maximo admisible	250	%	
Diametro de seccion anular (di)	0	cm	
Tipo de conexion	Fija (pernos)		
Tension admisible de compresion (T _{ac})	80	Kg-f/cm ²	
Esfuerzo de fluencia del acero	2400	Kg-f/cm ²	
Modulo de compresibilidad de goma	20000	Kg-f/cm ²	
Aceleracion de la gravedad	981	cm/s ²	
ACEPTAR BORRAR SALIR			
PROPIEDADES HISTERESIS			
R.01:Desplazamiento de diseño y maximo			
Cf. reduc amortiguamiento (Bd)	1.2973		
Desplazamiento de diseño (DD)	10.3435	cm	
Desplazamiento maximo (DM)	15.5153	cm	
Desplazamiento total de diseño (DTD)	11.3779	cm	
Desplazamiento total maximo (DTM)	17.0668	cm	
R. 02: Calculo de la rigidez horizontal			
Rigidez horizontal total (K _{ht})	19606.6	Kg-f/cm	2
Rigidez horizontal aislador (K _h)	784.266	Kg-f/cm	
R. 03: Area y diametro del aislador			
Area del aislador (A)	3310.5	cm ²	
Diametro del aislador (D _e)	64.9234	cm	
Dato:			3
Diametro asumido (D _e)	65	cm	
Area final de aislador (A _f)	3318.32	cm ²	
ACEPTAR			
R. 04: Espesor de goma			
Espesor total de goma (H _r)	8.5334	cm	
Dato:			
Espesor de capa de goma (t _r)	0.8	cm	
ACEPTAR			
# capas de goma	10.6667	capas	
Dato:			
# capas de goma asumido	20	capas	
Espesor total de goma final (H _r)	16	cm	
ACEPTAR			
R.05:Modulo de corte y Factor de forma			
Modulo de corte (G)	3.78151	kg-f/cm ²	
Factor de forma (S)	20.3125		4
Modulo de corte comercial (G)	3.80	kg-f/cm ²	
R. 06: Capa de acero			
Dato:			
Espesor de capa de acero (t _s)	0.3	cm	
ACEPTAR			
Tension maxima de traccion en placas (T _{max})	320	kg-f/cm ²	
Tension admisible de traccion en placas (T _{adm})	1800	kg-f/cm ²	
T _{max} < T _{adm}			
R.07:Altura total del aislador			
H goma+ laminas de acero	21.7	cm	5
H placa interior de acero sup e inf	2.5	cm	
H placa exterior de acero sup e inf	3.2	cm	1 1/4"
H _{total} = H goma+ laminas de acero + placa sup e inf	33.1	cm	6
ACEPTAR			
R.08:Rigidez y frecuencia vertical			
Modulo de compresion acero + goma (E _c)	5781.42	kg-f/cm ²	
Rigidez vertical (K _v)	1.19904e+06	kg-f/cm	
Frecuencia vertical (f _v)	24.8828	Hz	
Cumple K _v > 1000*K _h			
Cumple f _v > 10Hz			
R.09:Verificacion del periodo objetivo			
Rigides horizontal (K _h)	788.1	kg-f/cm	
Periodo objetivo (T _d)	1.99513	seg	
El T _d verificado esta proximo al T _d objetivo			
R. 10: Deformacion angular maxima			
Valor E _o	35		
Valor K	0.7		
Factor de seguridad	1.5		
Deformacion angular por corte	1.06667	grados	
Deformacion angular por compresion	0.481427	grados	
Deformacion angular maxima	1.5481	grados	
Deformacion angular maxima admisible	3.11667	grados	
Cumple, Def ang. maxima < Def ang. admisible			
ACEPTAR			
R.11:Verificacion al pandeo			
Carga critica (P _{crit})	769498	kg-f	
P _{crit} /P _{max}	2.90552		
Factor de seguridad (F.S)	2		
Cumple la cond. de pandeo			
R.12:Verificacion al volcamiento			
Desplazamiento maximo (D _{max})	44.9426	cm	
D _{max} /DD	2.63333		
Factor de seguridad (F.S.)	1		
Cumple verif. al volteo			

Figura 9.11. Ingreso de los datos iniciales

AISLAND: DATOS INICIALES

1. PARAMETROS SISMICOS DE DISEÑO

Zona Sismica (Z)

Tipo de suelo (S)

Categoría de la edificación (U)

Periodo objetivo (Td) Seg

Factor de amplifiación sismica (C)

Parametros

3. PROPIEDADES DEL SISTEMA

Tipo de diseño

Tipo de desplazamiento para diseño 2

Numero total de aisladores (N) Und

Peso total de la estructura (W) Kg-f

Aceleración de la gravedad (g) cm/s²

2. RESULTADOS PRELIMINARES

Factor de zona para SD1 (ZSD1)

Factor de zona para SM1 (ZSM1)

Factor por tipo de suelo (S)

Periodo por tipo de suelo (tp) Seg

Aceleración espectral de diseño (SD1)

Aceleración espectral máxima (SM1)

4. CANTIDADES Y DISEÑO FINAL

	4 Tipo Aislador	5 Cantidad	6 % Amort.	7 % Rigidez
1	HDR	25	10	50
2	LRB	12	20	50
	8	9	10	Automat..

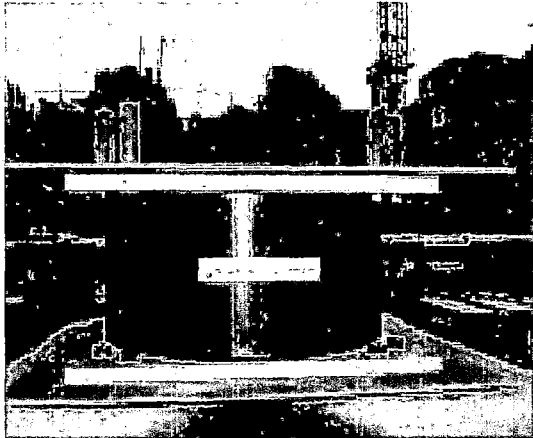
13

14

15 16

BORRAR
SALIR
AYUDA

(HDR) Aislador Elastomerico de Alto Amortiguamiento
 (LRB) Aislador Elastomerico con Nucleo de Plomo
 (LDR) Aislador Elastomerico de Bajo Amortiguamiento



Apoyos elastómicos laminados, intercalando un conjunto de láminas de goma con delgadas placas de acero unidas por un proceso de vulcanización. La goma que además de entregar la flexibilidad y rigidez requerida, se diferencia de los elastómeros comunes por que posee como propiedad natural un alto amortiguamiento, logrado a través de agregar sustancias químicas al compuesto B=10 a 20%

Figura 9.12. Datos preliminares de diseño

ASISLAND: DISEÑO PRELIMINAR

Archivo Edicion Ayuda

DATOS

Datos generales		Datos aislador tipo HDR		Datos aislador tipo LRB	
Carga vertical maxima (Pmax)	264839.91 Kg-f	% Deformacion de corte maximo admisible	250 %	% Deformacion de corte maximo admisible	250 %
Carga vertical minima (Pmin)	38133.45 Kg-f	Diametro de seccion anular (di)	0 cm	Tension admisible de compresion (Tac)	80 Kg-f/cm2
Aceleracion de la gravedad	981 cm/s2	Tension admisible de compresion (Tac)	80 Kg-f/cm2	Modulo de compresibilidad de goma	20000 Kg-f/cm2
Tipo de conexion	Fija (pernos) ▼	Modulo de compresibilidad de goma	20000 Kg-f/cm2	Modulo de compresibilidad del plomo	140000 Kg-f/cm2
Esfuerzo de fluencia del acero	2400 Kg-f/cm2			Tension de fluencia del plomo	100 Kg-f/cm2
% Deformacion de corte directa maxima	200 %			Factor de amplificacion de rigidez inicial N=Ki/Kpf	10

RESULPREV

PROPIEDADES GENERALES DEL SISTEMA

Rigidez compuesta (Kcomp) 1	29017.8	Kgf/cm	Desplazamiento de diseño (Dd) 8	9.93971	cm
Amortiguamiento promedio (Bprom)	15	% 2	Desplazamiento maximo (Dm) 9	14.9096	cm
Periodo de diseño (Td)	2	Seg 3	Desplazamiento total de diseño (Dtd)	10.9337	cm 10
Rigidez total aisladores tipo 1 (KT1) 4	14508.9	Kgf/cm	Desplazamiento total maximo (Dtm)	16.4005	cm 11
Rigidez total aisladores tipo 2 (KT2) 5	14508.9	Kgf/cm			
Rigidez individual aislador tipo 1 (Ki1)	580.356	Kgf/cm 6			
Rigidez individual aislador tipo 2 (Ki2)	1209.08	Kgf/cm 7			

Figura 9.13. Resultados de las propiedades generales del sistema.

Figura 9.14. Diseño del aislador tipo: HDR

AISLAND: DISEÑO DE AISLADORES TIPO HDR(1)

DATOS		
Carga vertical maxima (Pmax)	264840	Kg-f
Carga vertical minima (Pmin)	38133.4	Kg-f
% Deformacion de corte directa maxima	200	%
% Deformacion de corte maximo admisible	250	%
Diametro de seccion anular (di)	0	cm
Tipo de conexon	Fija (pernos)	
Tension admisible de compresion (Tac)	80	Kg-f/cm2
Esfuerzo de fluencia del acero	2400	Kg-f/cm2
Modulo de compresibilidad de goma	20000	Kg-f/cm2
Aceleracion de la gravedad	981	cm/s2
ACEPTAR BORRAR SALIR		
PROPIEDADES HISTERESIS		

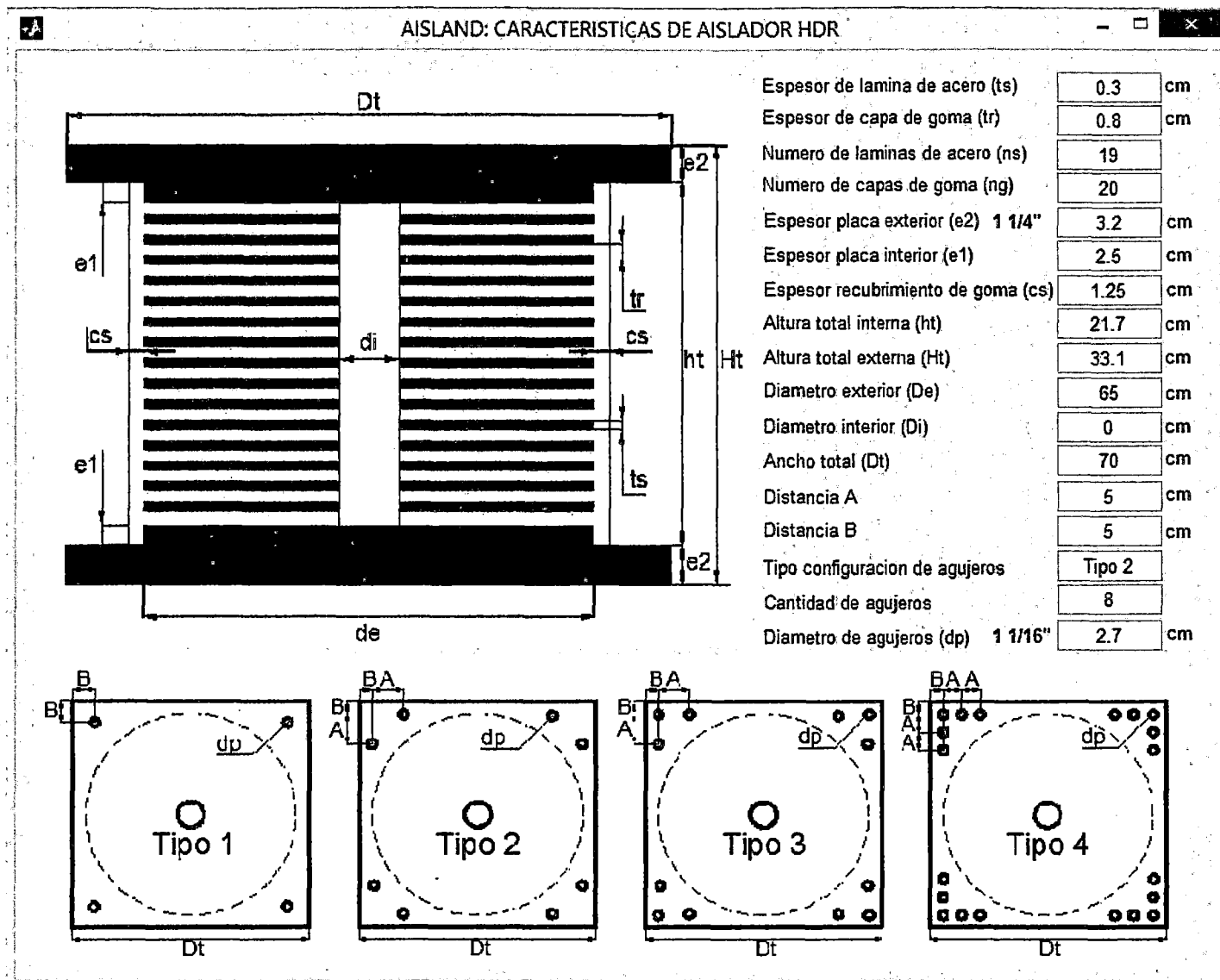
R.01:Desplazamiento de diseño y maximo Cf. reduc amortiguamiento (Bd) 1.35 Desplazamiento de diseño (DD) 9.93971 cm Desplazamiento maximo (DM) 14.9096 cm Desplazamiento total de diseño (DTD) 10.9337 cm Desplazamiento total maximo (DTM) 16.4005 cm	R.02: Calculo de la rigidez horizontal Rigidez horizontal total (Kht) 14508.9 Kg-f/cm Rigidez horizontal aislador (Kh) 580.356 Kg-f/cm R.03: Area y diametro del aislador Area del aislador (A) 3310.5 cm2 Diametro del aislador (De) 64.9234 cm Dato: Diametro asumido (De) 65 cm Area final de aislador (Af) 3318.32 cm2 ACEPTAR R.04: Espesor de goma Espesor total de goma (Hr) 8.20026 cm Dato: Espesor de capa de goma (tr) 0.8 cm ACEPTAR # capas de goma 10.2503 capas Dato: # capas de goma asumido 22 capas Espesor total de goma final (Hr) 17.6 cm ACEPTAR	R.05:Modulo de corte y Factor de forma Modulo de corte (G) 3.07815 kg-f/cm2 Factor de forma (S) 20.3125 Modulo de corte comercial (G) 3.0 kg-f/cm2 R.06: Capa de acero Dato: Espesor de capa de acero (ts) 0.3 cm ACEPTAR Tension maxima de traccion en placas (Tmax) 320 kg-f/cm2 Tension admisible de traccion en placas (Tadm) 1800 kg-f/cm2 Tmax<Tadm R.07:Altura total del aislador H goma+ laminas de acero 23.9 cm H placa interior de acero sup e inf 2.5 cm H placa exterior de acero sup e inf 3.2 cm Htotal= H goma+ laminas de acero + placa int sup e inf + placa ext sup e inf 35.3 cm ACEPTAR
R.08:Rigidez y frecuencia vertical Modulo de compresion acero + goma (Ec) 4967.34 kg-f/cm2 Rigidez vertical (Kv) 936546 kg-f/cm Frecuencia vertical (fv) 24.8828 Hz Cumple Kv > 1000*Kh Cumple fv > 10Hz	R.09:Verificacion del periodo objetivo Rigidez horizontal (Kh) 565.622 kg-f/cm Periodo objetivo (Td) 2.02588 seg El Td verificado esta proximo al Td objetivo	R.10: Deformacion angular maxima Valor Eo 35 Valor K 0.7 Factor de seguridad 1.5 Deformacion angular por corte 0.931848 grados Deformacion angular por compresion 0.481427 grados Deformacion angular maxima 1.41326 grados Deformacion angular maxima admisible 3.11667 grados Cumple,Def ang. maxima < Def ang.admisible ACEPTAR R.11:Verificacion al pandeo Carga critica (Pcrit) 575422 kg-f Pcrit/Pmax 2.17271 Factor de seguridad (F.S) 2 Cumple la cond. de pandeo
R.12:Verificacion al volcamiento Desplazamiento maximo (Dmax) 47.6632 cm Dmax/DD 2.9062 Factor de seguridad (F.S.) 1 Cumple verif. al volteo		

AISLAND: DISEÑO DE AISLADOR TIPO LRB

DATOS		
Carga vertical maxima (Pmax)	264840	kg-f
Carga vertical minima (Pmin)	38133.4	kg-f
% Deformacion de corte directa maxima	200	%
% Deformacion de corte maximo admisible	250	%
Tipo de conexión	Fija (pernos)	
Tension admisible de compresion (T _{ac})	80	kg-f/cm ²
Esfuerzo de fluencia del	2400	kg-f/cm ²
Modulo de compresibilidad de goma	20000	kg-f/cm ²
Modulo de compresibilidad del plomo	140000	kg-f/cm ²
Tension de fluencia del plomo	100	kg/cm ²
Aceleracion de la gravedad	981	cm/s ²
Factor de amplificacion de rigidez inicial H=K ₀ /K _p	10	
ACEPTAR BORRAR SALIR		
PROPIEDADES HISTERESIS		
R.01: Desplazamiento de diseño y maximo Cf. reduc amortiguamiento (Bd) 1.35 cm Desplazamiento de diseño (DD) 9.93971 cm Desplazamiento maximo (DM) 14.9096 cm Desplazamiento total de diseño (DTD) 10.9337 cm Desplazamiento total maximo (DTM) 16.4005 cm		
R.02: Calculo de la rigidez horizontal Rigidez horizontal total (K _{ht}) 14508.9 Kg-f/cm Rigidez horizontal aislador (K _h) 1209.08 Kg-f/cm		
R.03: Capac. de aislador a def. cero y diam. interno Diametro de plomo calculado (dp) 2 9.16334 cm Diametro de plomo asumido (D _{pf}) 9.15 cm Area del nucleo de plomo (A _p) 65.7557 cm ² Capacidad a def. cero final (Q _i) 6575.57 Kg-f ACEPTAR		
R.04: Area y diametro del aislador Area del aislador (A) 3310.5 cm ² Diametro del aislador (D _e) 65.565 cm Dato: 3 70 cm Diametro asumido (D _e) 70 cm Area final de aislador (A _f) 3782.7 cm ² ACEPTAR		
R.05: Espesor de goma Espesor total de goma (H _r) 8.20026 cm Espesor de capa de goma (tr) 0.8 cm ACEPTAR # capas de goma 10.2503 cap Dato: 22 cap # capas de goma asumido 22 cap Espesor total de goma final (H _r) 17.6 cm ACEPTAR		
R.06: Modulo de corte y Factor de forma Modulo de corte (G) kg-f/cm ² 3.76008 Factor de forma (S) 4 21.5012 Modulo de corte comercial kg-f/cm ² 3.80		
R.07: Capa de acero Espesor de capa de acero (ts) 0.3 cm ACEPTAR		
R.07: Capa de acero Tension maxima de traccion en placas (T _{max}) 320 kg-f/cm ² Tension admisible de traccion en placas (T _{adm}) 1800 kg-f/cm ² Cumple T _{max} < T _{adm}		
R.08: Altura total del aislador 5 H goma+ laminas de acero 23.9 cm H placa exterior de acero Sup e Inf 3.2 cm 1 1/4" H placa interior de acero Sup e Inf 2.5 cm H total= H goma+ laminas de acero + placa sup e inf 6 35.3 cm ACEPTAR		
R.09: Rig. postfluencia, Rigidez inicial y Rigidez efectiva Rigidez postfluencia (K _p) 816.72 kg-f/cm Rigidez efectiva (K _{eff}) 1217.66 kg-f/cm Rigidez inicial (K _i) 8167.2 Kg-f/cm		
R.10: Desplazamiento de fluencia y fuerza de fluencia Desplazamiento de fluencia (D _y) 0.894576 cm Fuerza de fluencia (F _y) 7306.18 kg-f Energia disipada (W _d) 407842 kg-f Amortiguamiento efectivo final (B) 19.8185 % Coeficiente de amortiguamiento final (B _d) 1.49455 Fuerza característica del plomo (Q) 6575.57 kg-f		
R.11: Propiedades finales del sistema Periodo real del sistema (T _d) 1.99294 seg Desplazamiento total maximo final (DTM) 16.4005 cm Def. a corte de diseño final (D _{cd}) 0.931848		
R.12: Rigidez y frecuencia vertical Modulo de compresion acero + goma (E _c) 5320.23 kg-f/cm ² Rigidez vertical (K _v) 1.52864e+06 kg-f/cm Frecuencia vertical (f _v) 26.4323 Hz Cumple f _v > 10Hz		
R.13: Deformacion angular maxima Dato: Valor E _o 35 Dato: Valor K 0.7 Factor de seguridad 1.5 Deformacion angular por corte 0.931848 grados Deformacion angular por compresion 0.454895 grados Deformacion angular maxima 1.38674 grados Deformacion angular maxima admisible 3.11667 grados Cumple Def ang. maxima < Def ang. admisible ACEPTAR		
R.14: Verificación al pandeo Carga critica (P _{crit}) 829778 kg-f P _{crit} /P _{max} 3.13313 Factor de seguridad (F.S.) 2 Cumple la cond. de pandeo: P _{crit} /P _{max} > F.S.		
R.15: Verificación al volcamiento Desplazamiento maximo (D _{max}) 39.7014 cm D _{max} /DTM 2.42074 Factor de seguridad (F.S.) 1 Cumple verif. al volteo: D _{max} /DTM > F.S.		

Figura 9.15. Diseño del aislador tipo: LRB

Figura 9.16. Propiedades geométricas del aislador diseñado.



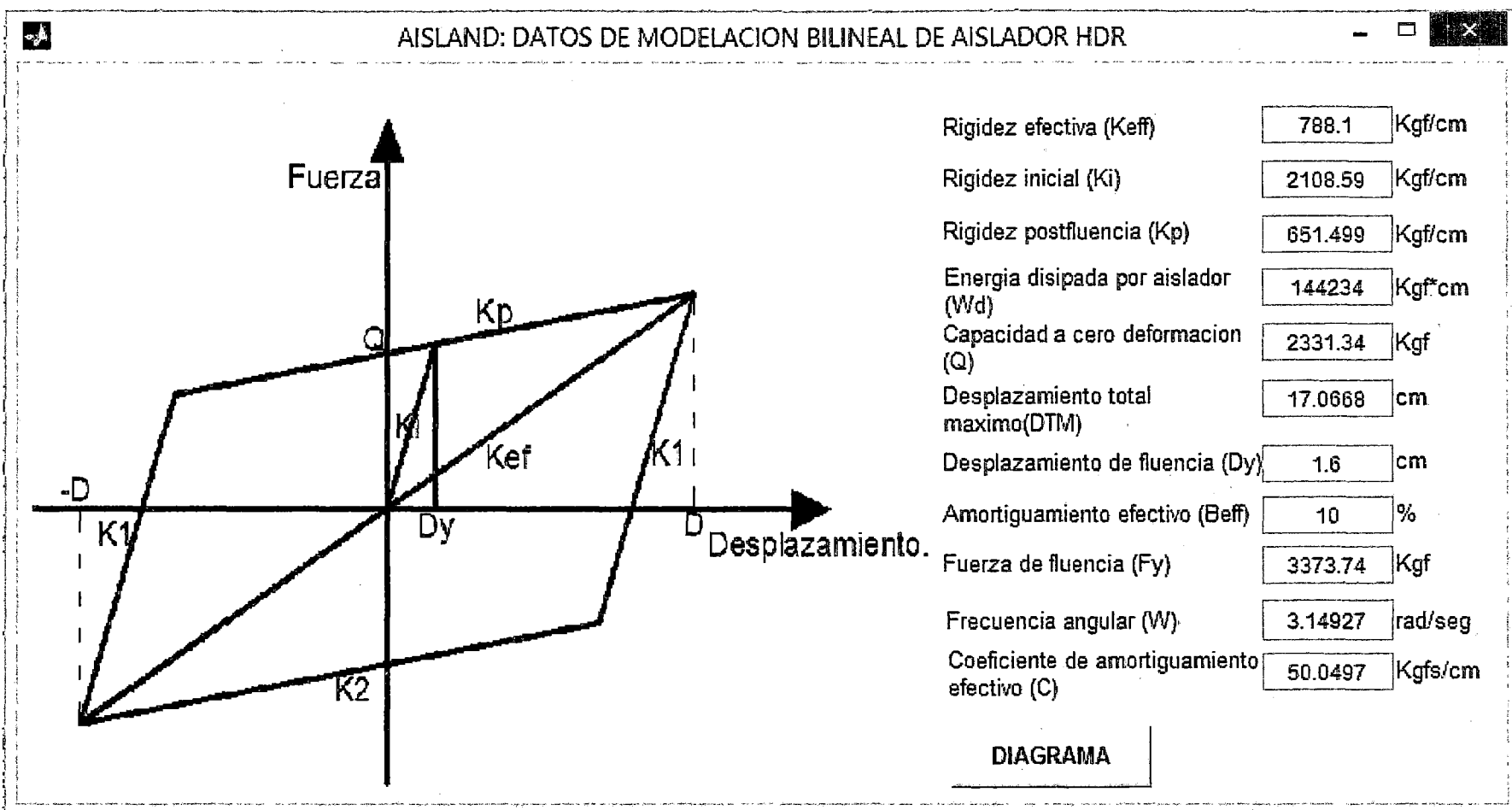
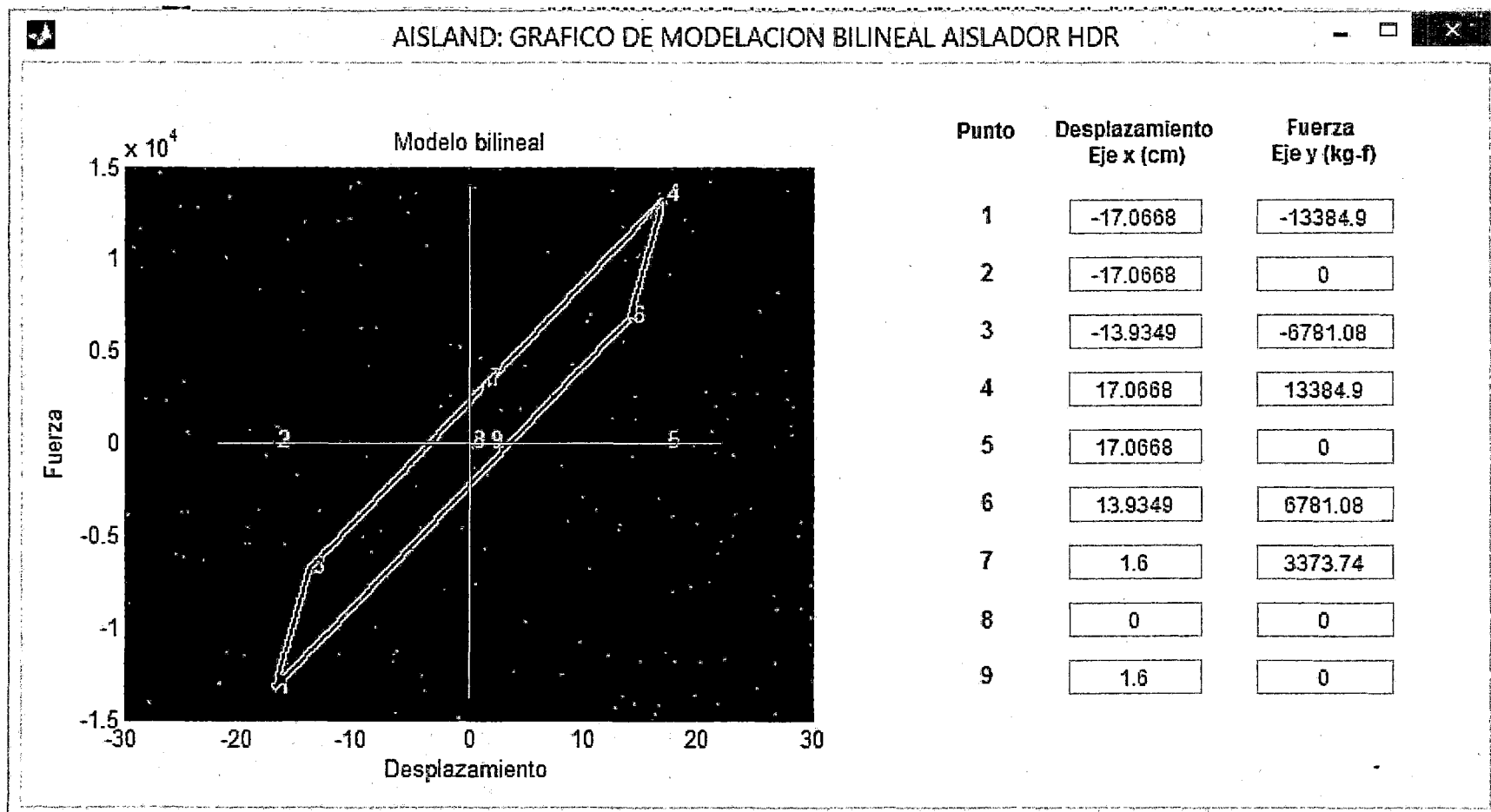


Figura 9.17. Datos para la modelación bilineal del aislador

Figura 9.18. Gráfico la modelación bilineal del aislador



Parte IV

PROCESAMIENTO DE DATOS Y RESULTADOS

Capítulo 10

Características de la Estructura Convencional y Aislada

10.1. Características de la estructura convencional

La estructura existente tiene las siguientes características:

1. El edificio destinado a los laboratorios para la facultad de ciencias agrarias esta ubicado en ciudad universitaria de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. La estructura considerada como modelo corresponde a una de las edificaciones erigidas tal como se muestra en la figura 10.1
2. La estructura consta de un edificio de 4 niveles.
3. La edificación consta de una estructura regular de un sistema aporticado en el eje X-X y con presencia de algunos muros llenos en el sentido Y-Y.
4. La altura máxima del edificio es de 18.50 sobre el nivel del terreno y de 19.80 sobre el nivel del fondo de zapata.
5. El área máxima de losa construida es de 690.74 m^2 y una área mínima de 586.25 m^2
6. La estructura tiene un peso total de 2'422866.87 kg-f

7. La estructura esta definida como aporticada en el eje X-X y de muros estructurales en el eje Y-Y en la clasificación de los sistemas estructurales existentes.
8. Cuenta con 8 ejes principales y 4 ejes secundarios.
9. El concreto utilizado es de $f'_c = 210Kg/cm^2$ de resistencia y el acero de $f_y = 4200Kg/cm^2$ de esfuerzo máximo de fluencia.
10. Las luces libres de las losas aligeradas de la edificación son máximo de 5.78 m de longitud. Por ello se utilizo viguetas prefabricadas para así resistir los esfuerzos.
11. Haciendo un análisis estructural y sísmico de acuerdo a los requerimientos estipulados en el reglamento nacional de edificaciones. Se concluyo que la estructura originalmente construida no cumple con los requerimientos estructurales, (ver apartado: Análisis y Diseño convencional de la estructura existente). En consecuencia fue necesario hacer un re-calcu de la edificación con secciones de columnas nuevas y adición de muros estructurales para su cumplimiento.

En las figuras 10.2,10.3,10.4,10.5,10.6,10.7 y 10.8 se muestra los detalles de la estructura a modelar.

10.2. Características de la estructura aislada

1. Se considera para el modelamiento con aisladores sísmicos, en total 37 aisladores. Se tendrán 4 casos de aislamiento los cuales son:
 - Caso HDR:Se considera los 37 aisladores del tipo HDR de un solo valor de amortiguamiento y rigidez.
 - Caso LRB:Se considera los 37 aisladores del tipo LRB de un solo valor de amortiguamiento y rigidez.
 - Caso HDR1+HDR2:Se considera 12 aisladores del tipo HDR1 y 25 aisladores del tipo HDR2. Los dos de diferentes tipos de amortiguamiento pero igual rigidez

- Caso HDR+LRB: Se considera 12 aisladores del tipo LRB y 25 aisladores del tipo HDR. Los dos de diferentes tipos de amortiguamiento y de diferente rigidez
2. Para ofrecer una interfaz de conexión entre el aislador y la superestructura, es necesario la construcción de una losa de concreto que juntamente con las vigas de conexión conformen un diafragma rígido y actúe como un nivel de base.
 3. Se proyecta la disposición de los aisladores de acuerdo al detalle de la figura 10.9. Como se muestra en dicha figura se proyecta la adición de vigas en la losa de base en el eje G-G, para formar puntos de apoyo para los aisladores y así evitar esfuerzos excesivos de las vigas debido a las grandes luces.
 4. La carga recibida por el aislador es transmitida hacia el terreno por medio de dados de concreto como se muestra en la figura 10.10
 5. En la figura 10.11 se muestra la configuración del sistema de aislamiento del primer caso, en la figura 10.12 del segundo caso, en la figura 10.13 del tercer caso y en la figura 10.14 la configuración del cuarto caso de aislamiento.

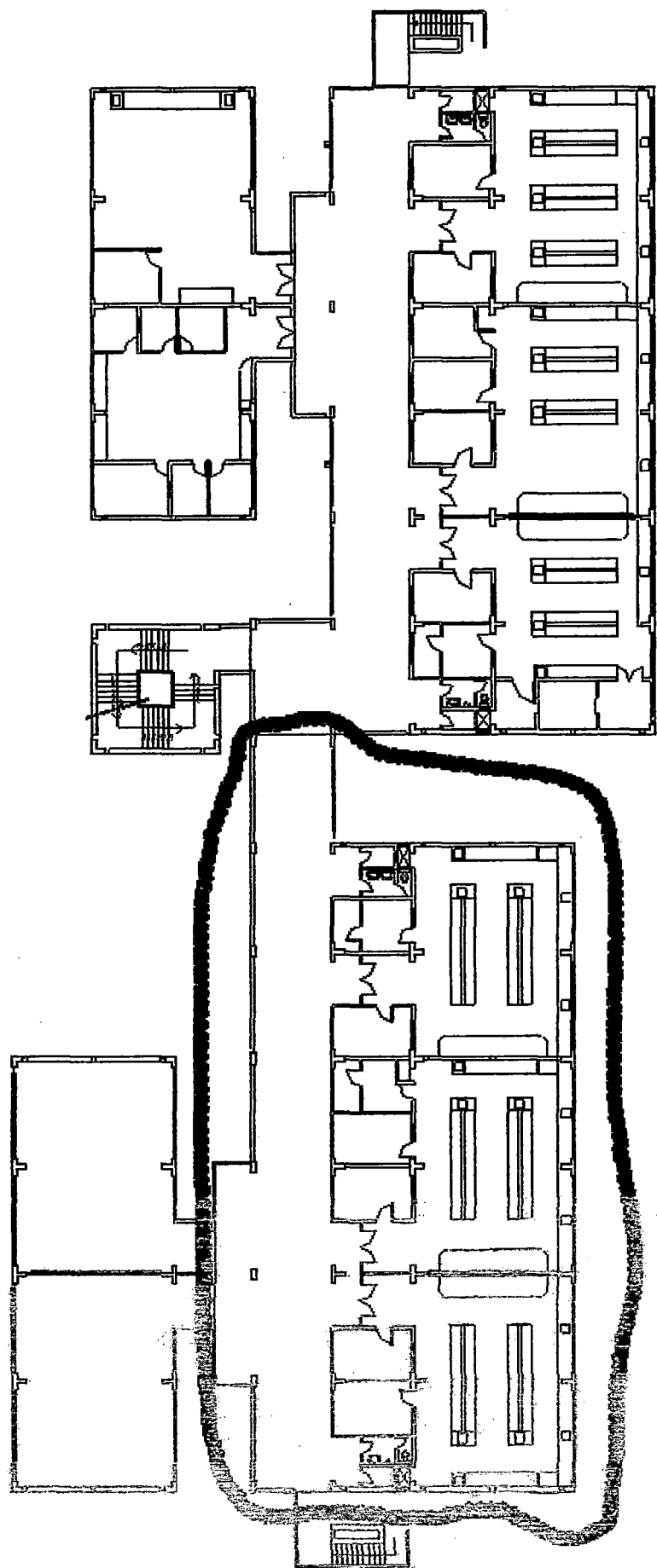


Figura 10.1. Estructura modelo considerada para el diseño con aisladores.

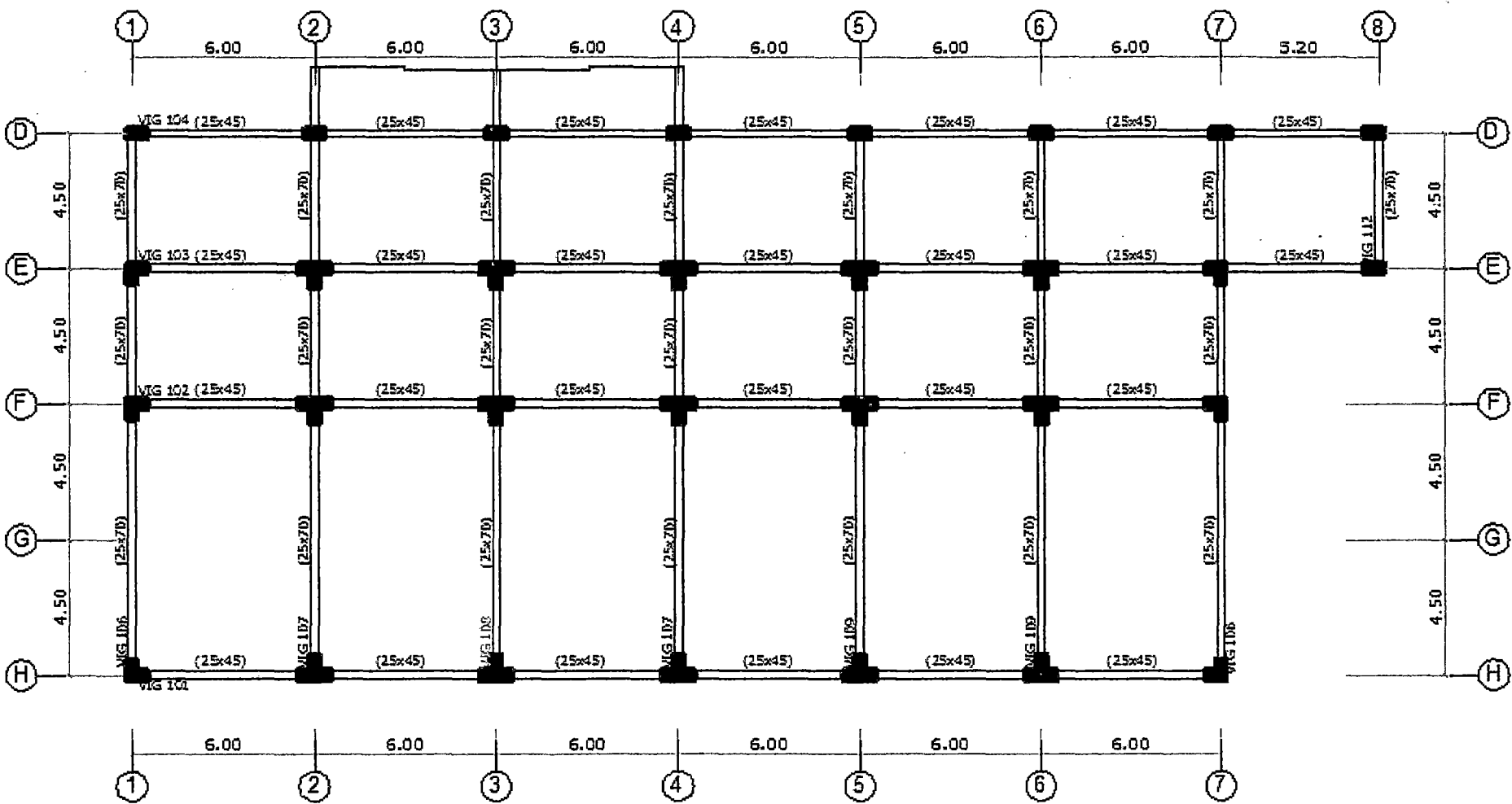


Diagrama 10.2. Planta típica piso 1

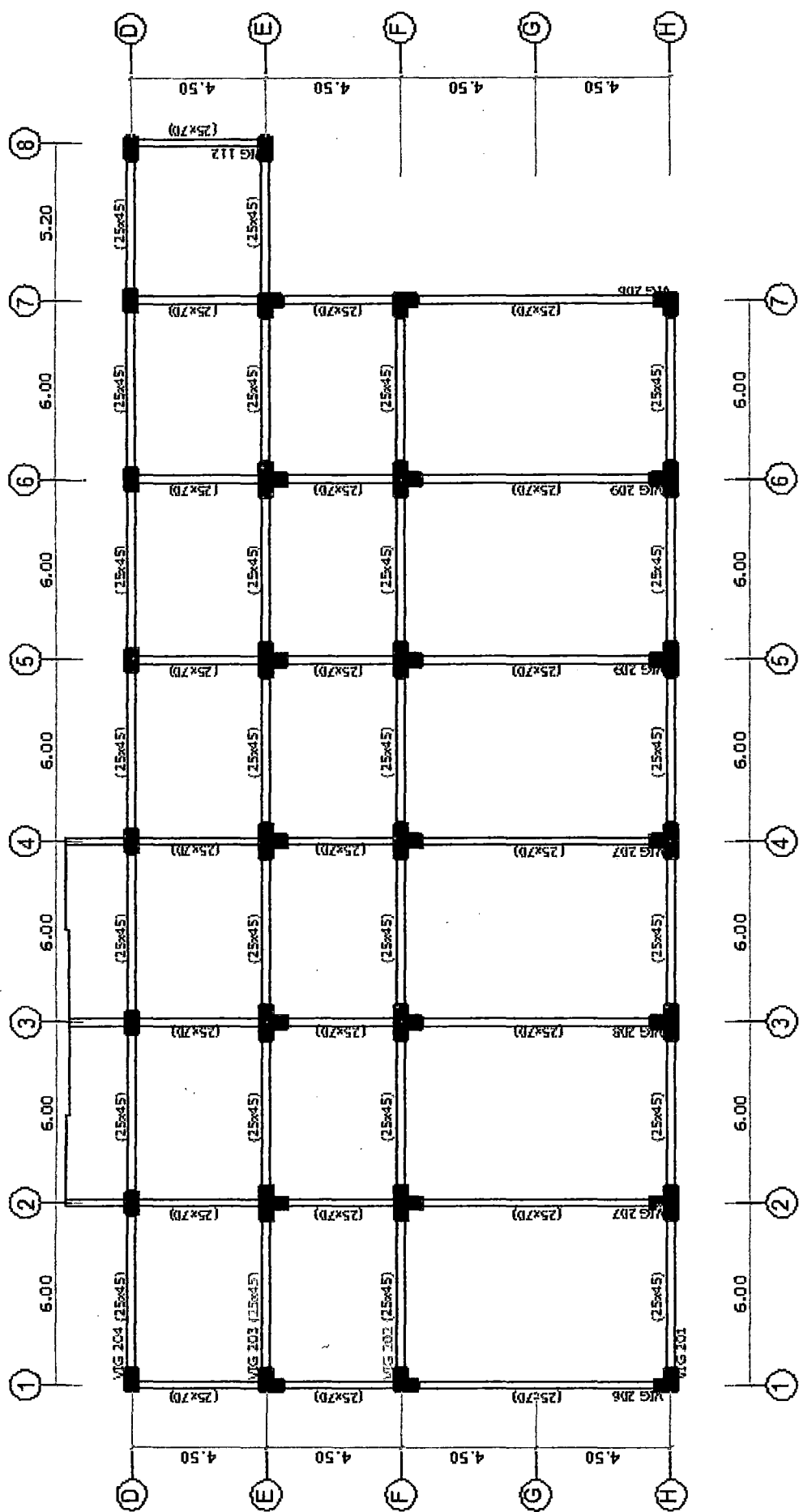


Figura 10.2. Planta de piso tipo 2

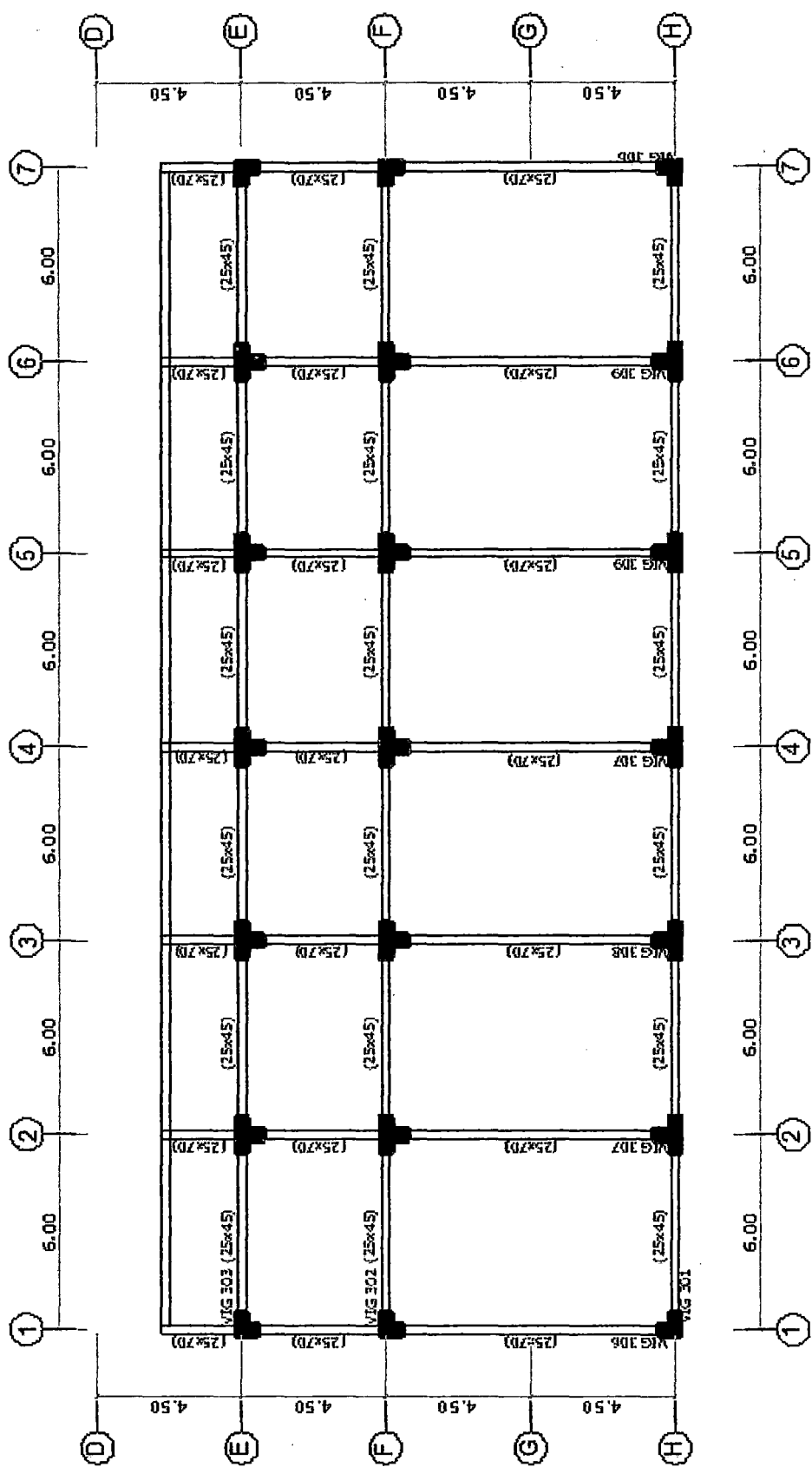
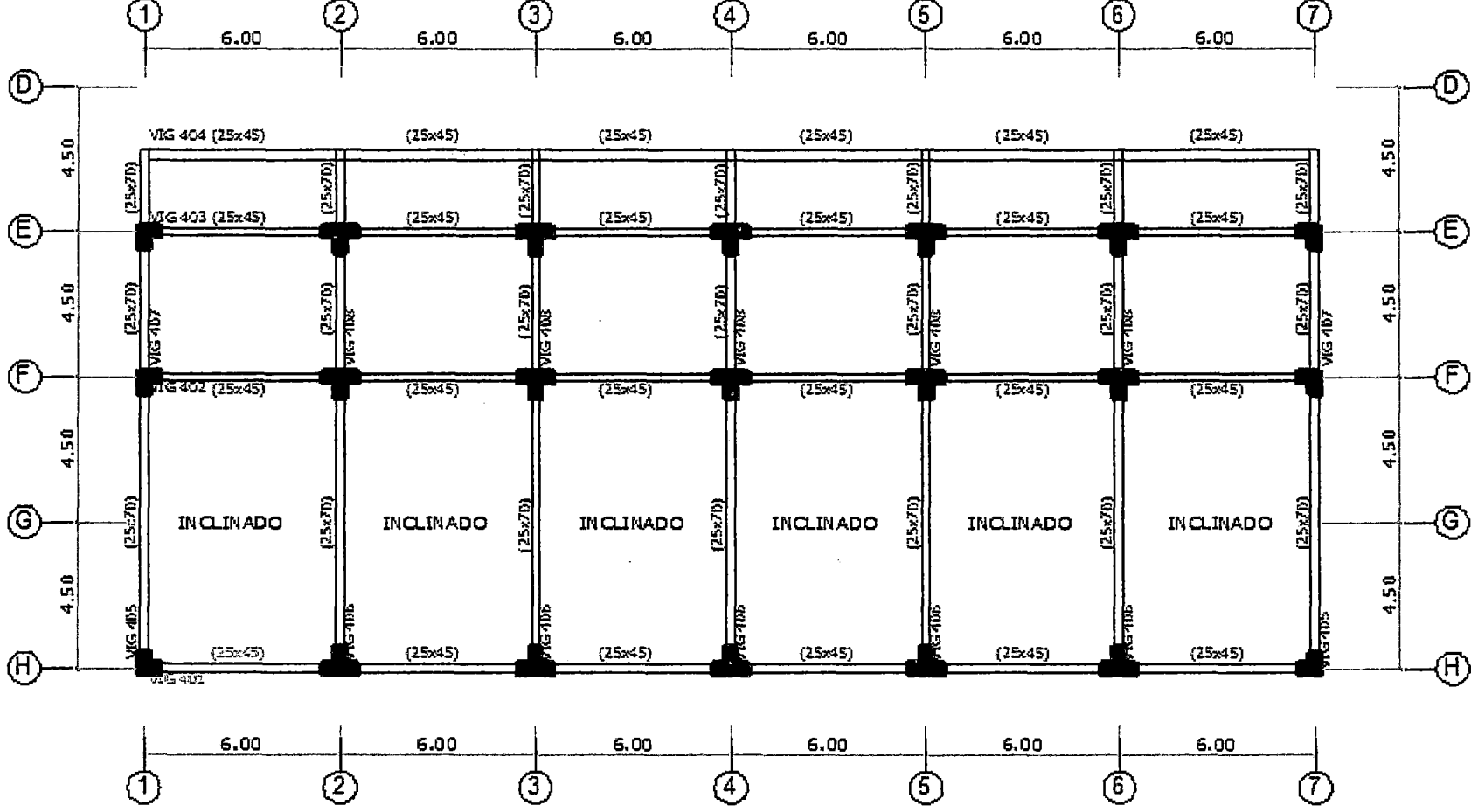


Figura 10.4. Planta típica piso 3.



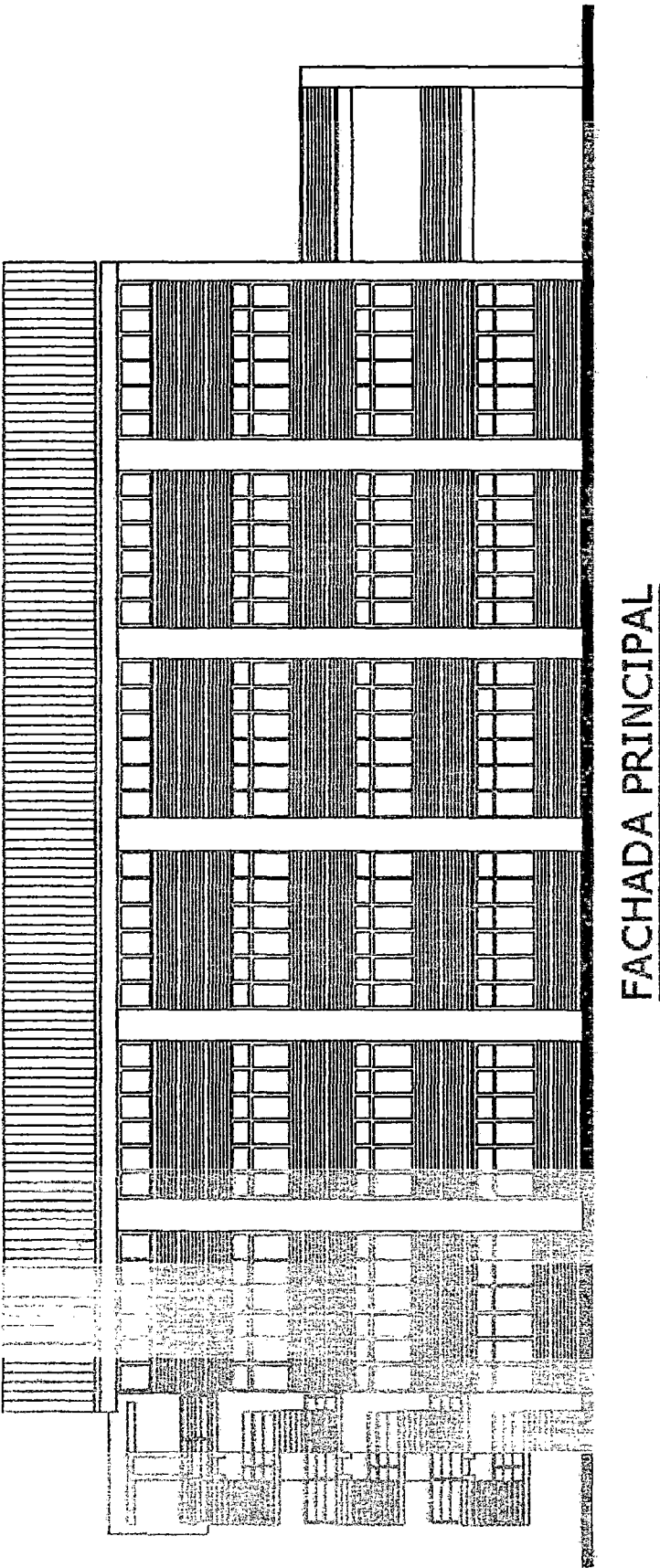


Figura 10.6. Elevación principal.

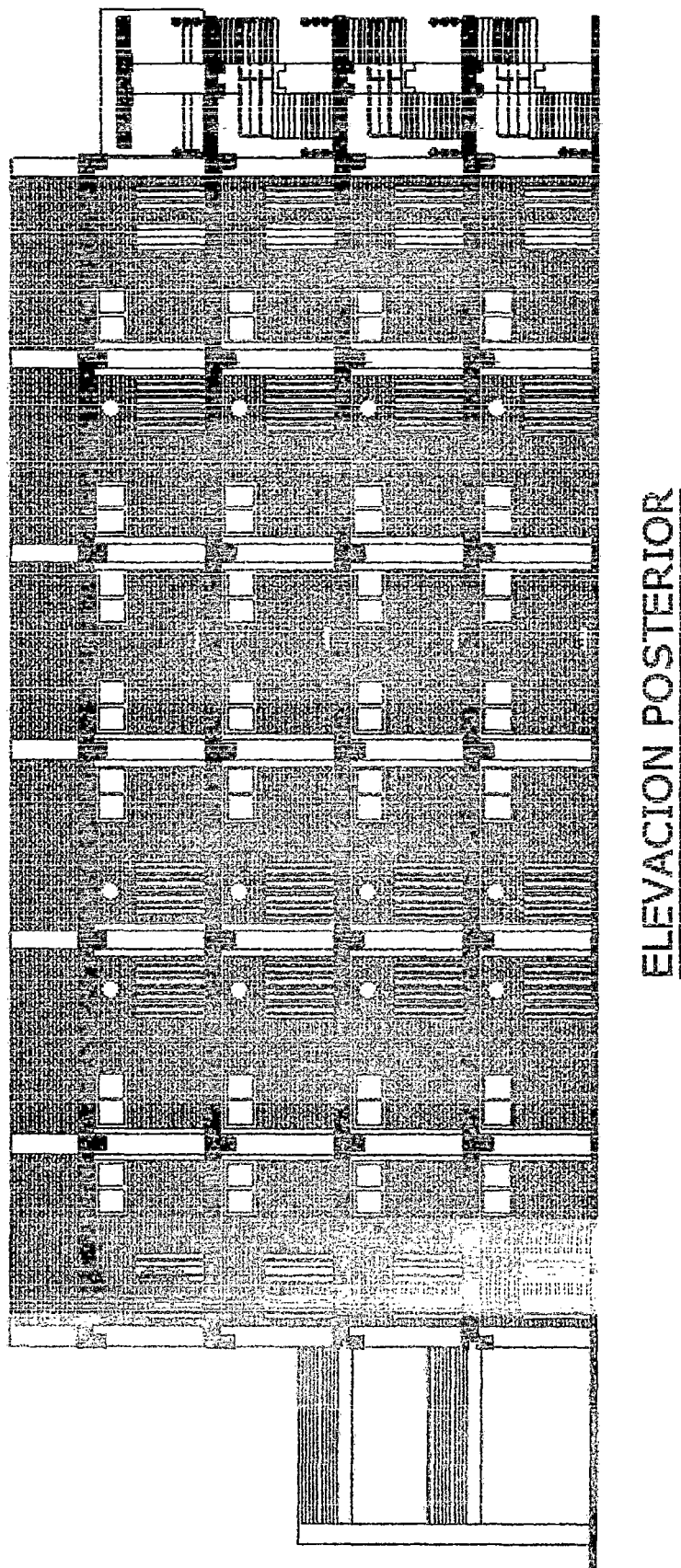


Figura 10.7. Elevación posterior.

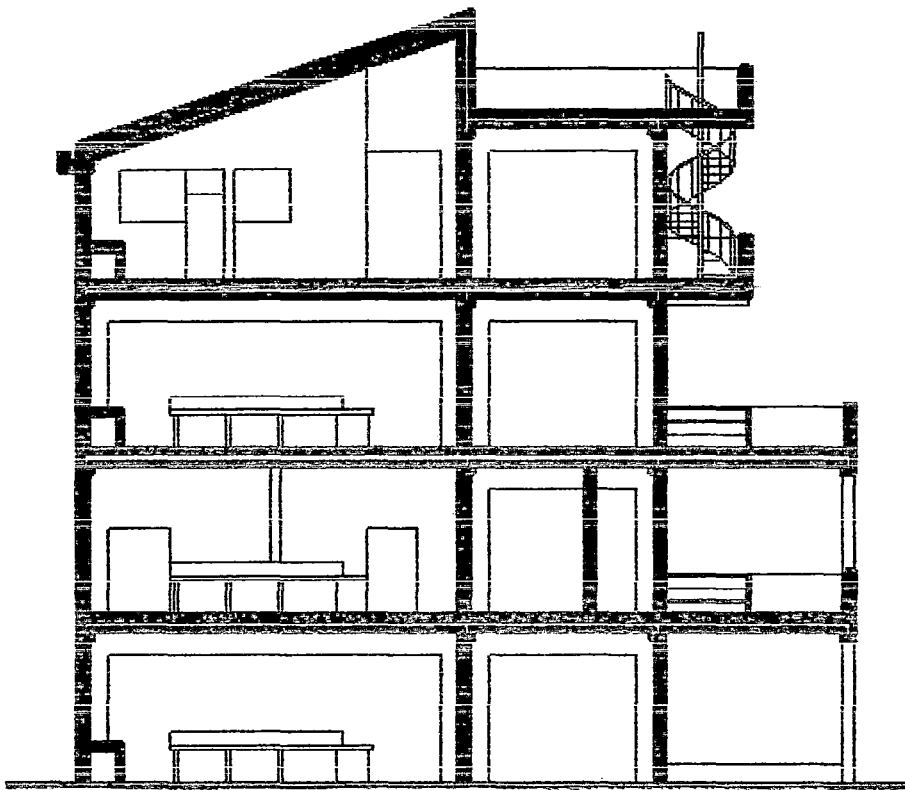


Figura 10.8. Corte típico.

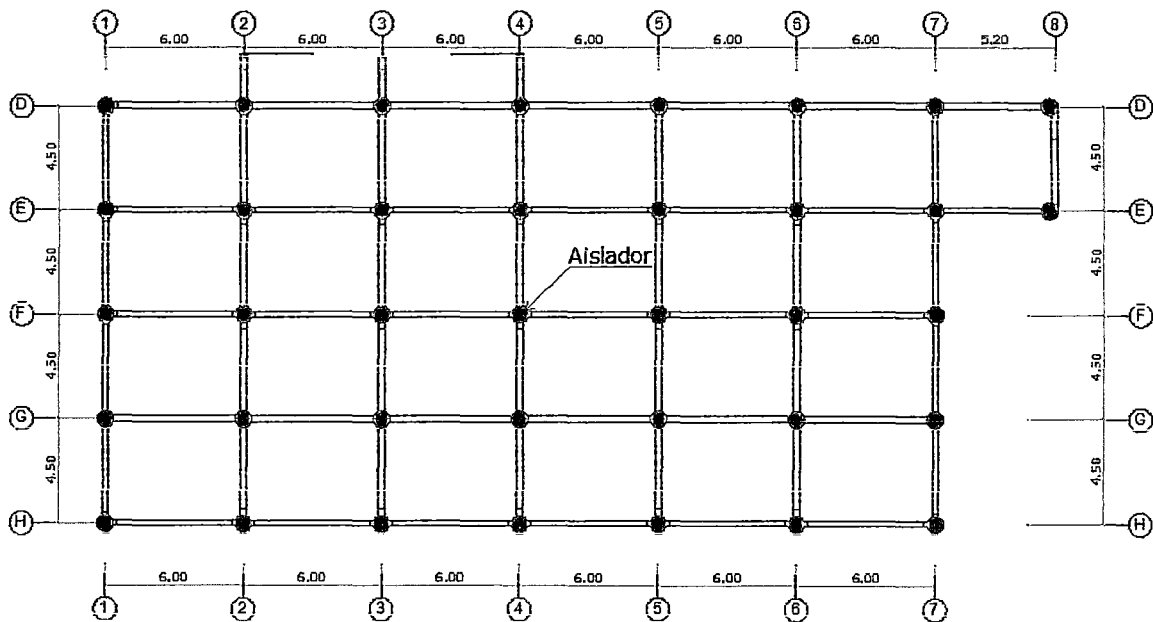


Figura 10.9. Ubicación de los aisladores en estructura modelada.

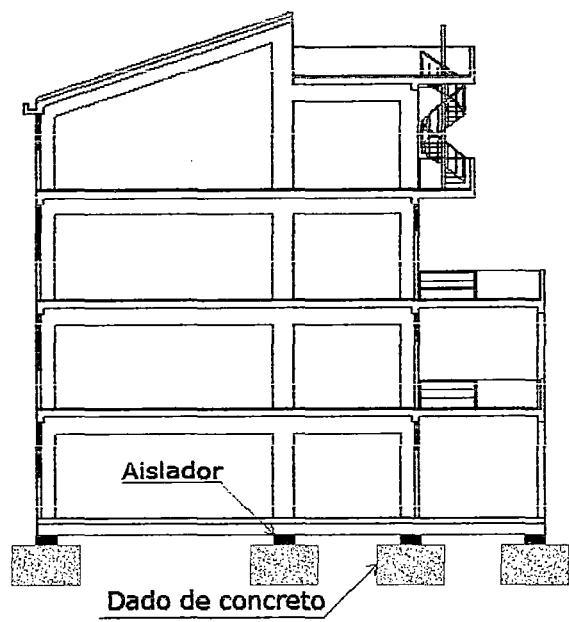


Figura 10.10. Vista en elevación de la ubicación de los aisladores sísmicos y cimentación de concreto.

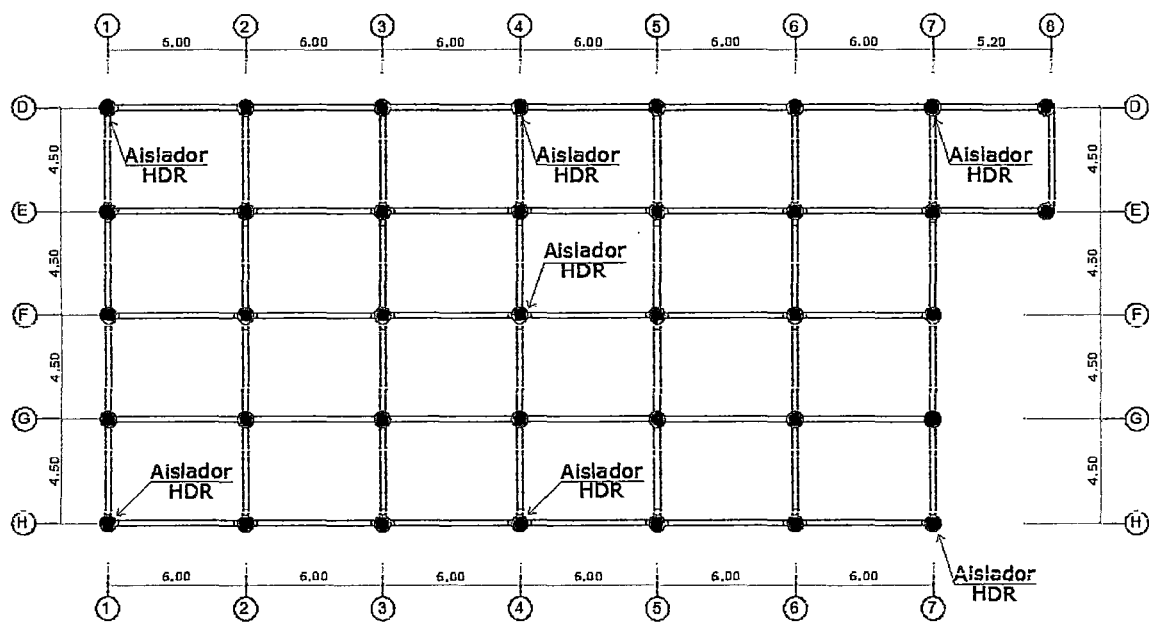


Figura 10.11. Configuración del sistema de aislamiento del primer caso:HDR

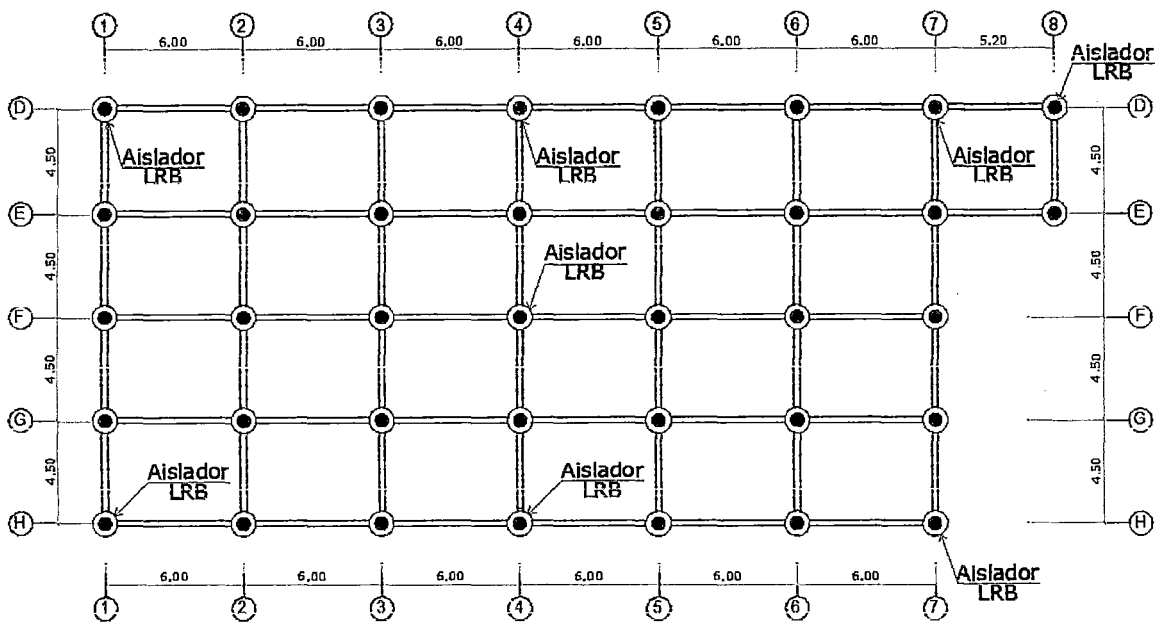


Figura 10.12. Configuración del sistema de aislamiento del segundo caso:LRB

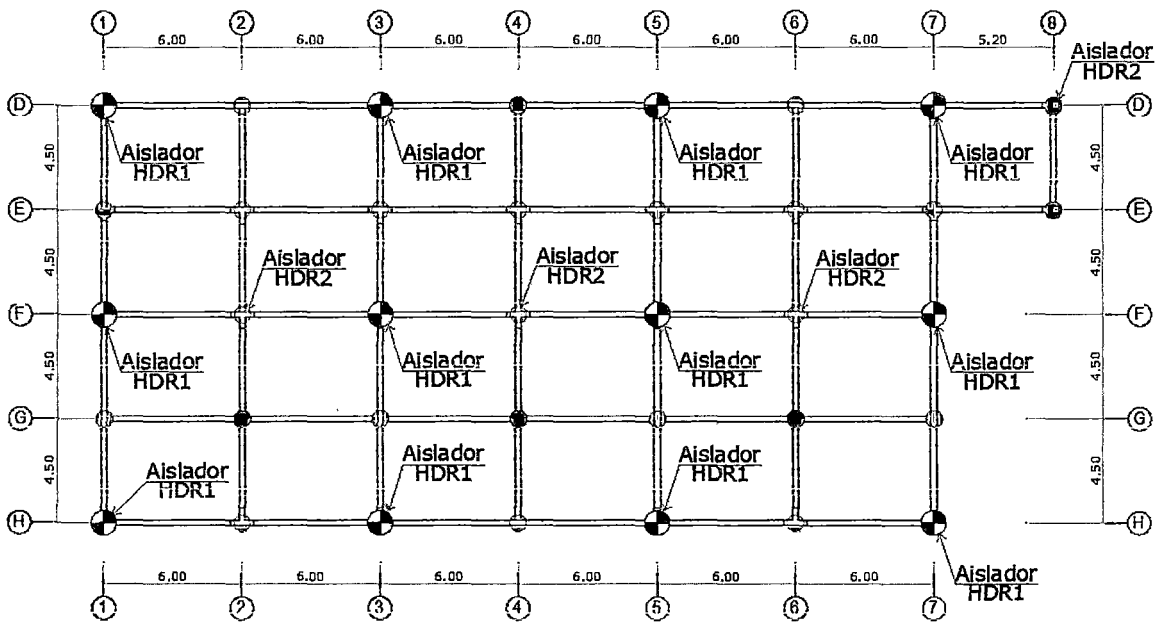


Figura 10.13. Configuración del sistema de aislamiento del tercer caso:HDR1+HDR2

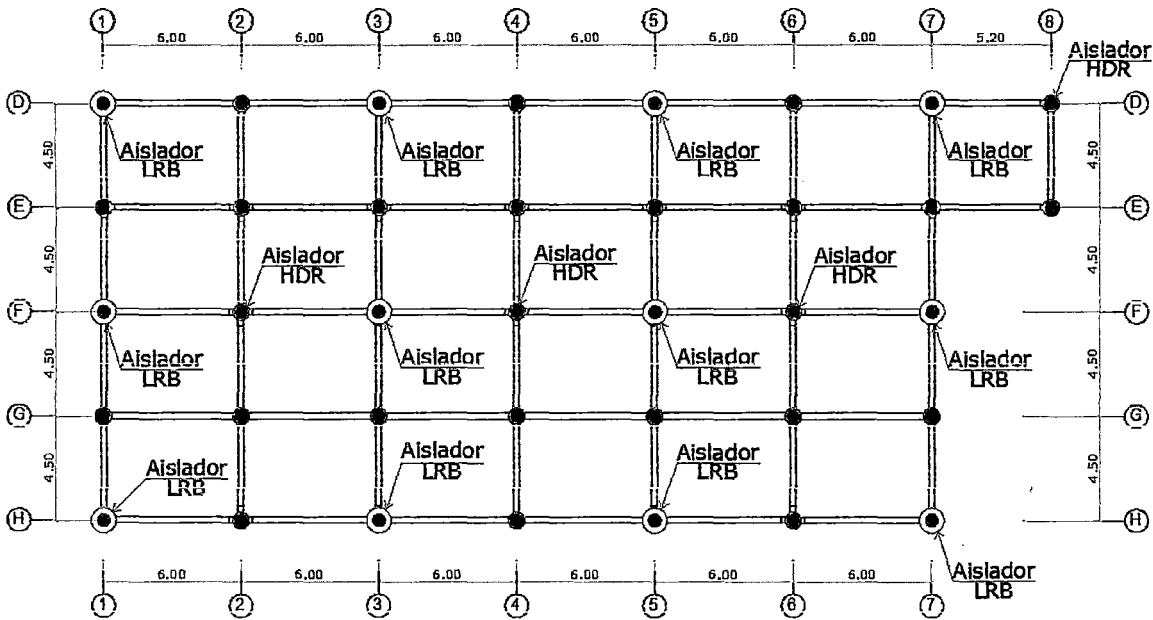


Figura 10.14. Configuración del sistema de aislamiento del cuarto caso:HDR+LRB

Capítulo 11

Análisis y Diseño Convencional de la Estructura Existente

11.1. Datos para el análisis

Los datos generales para el análisis estructural de la edificación convencional son los siguientes; cabe destacar que en el acápite Norma de diseño sismorresistente E-030, se detallo el concepto de algunos de los datos especificados a continuación :

1. *Propiedades de los materiales utilizados*

Se tiene las propiedades de los siguientes materiales utilizados:

a) Concreto armado:

- Resistencia a la compresión: $f'_c = 210,00 Kg/cm^2$
- Modulo de Elasticidad: $E = 15000\sqrt{f'_c} = 217370,65 Kg/cm^2$
- Peso específico: $Pe = 0,0024 Kg/cm^3$

b) Acero:

- Esfuerzo de fluencia: $f_y = 4200,00 Kg/cm^2$
- Modulo de Elasticidad: $E = 2000000,00 Kg/cm^2$
- Peso específico: $Pe = 0,00783 Kg/cm^3$

c) Muro de albañilería:

- Modulo de Elasticidad: $E = 32500Kg/cm^2$
- Modulo de corte: $G = 14130,43Kg/cm^2$

2. *Parámetros sísmicos Z, U, C, S y R*

Se define los parámetros sísmicos exigidos por el reglamento E-030:

a) *Factor de zona sísmica Z*

La estructura se ubica en la zona $Z = 2$, ver tabla 5.1 .

b) *Factor de tipo de suelo S*

El suelo es del tipo *Intermedio*, con un periodo del suelo $T_p = 0,6$ segundos y un factor $S = 1,20$, ver tabla 5.2.

c) *Factor de categoría de la edificación U*

Se define el factor $U = 1.5$ por tratarse de una edificación con fines educativos, ubicándose en la categoría tipo A (edificaciones esenciales), ver tabla 5.3.

d) *Coefficiente de reducción sísmica R*

De acuerdo al cuadro 5.4, se define el valor $R = 8$ para el sentido X-X por se aporticado y $R = 6$ para el sentido Y-Y por la presencia de muros estructurales.

e) *Coefficiente C*

Este parámetro varia de acuerdo a la variación del tiempo y se muestra en la figura 11.1.

3. *Espectro de diseño sísmico*

El espectro de diseño sera desarrollado tanto para el eje X-X como para el eje Y-Y, considerando un sistema aporticado en el eje X-X y un sistema de muros estructurales en el eje Y-Y. Los espectros son desarrollados de acuerdo a la figura 11.1.

4. *Numero de modos y combinación modal*

Se utilizaran en total 12 modos de vibración ,tres por cada nivel de la edificación. Para el análisis modal espectral se usaran la combinación modal de la sumatoria de efectos del tipo absoluto y el SRSS.

$$r = 0,25 \sum_{i=1}^m |r_i| + 0,75 \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

5. *Cargas y combinaciones de carga*

Las combinaciones de carga utilizadas para el análisis estructural son las mismas estipuladas en el reglamento nacional de edificaciones:

$$C1 = 1,4(DEAD + CM) + 1,7(CV + CVSUP)$$

$$C2 = 1,25(DEAD + CM + CV + CVSUP) \pm SISMOX$$

$$C3 = 1,25(DEAD + CM + CV + CVSUP) + SISMOY$$

$$C4 = 0,9(DEAD + CM) \pm SISMOX$$

$$C5 = 0,9(DEAD + CM) + SISMOY$$

Donde:

a) *DEAD: Peso propio*

Es la carga correspondiente al peso propio de los elementos estructurales.

b) *CM: Carga muerta*

Equivalente a $350Kg/m^2$ la cual es el resultado de la suma de las siguientes cargas:

- **En losa:** $CM_{losa} = 250Kg/m^2$ referente a una losa con viguetas prefabricadas y bloques de poliestireno.
- **En acabados:** $CM_{acabados} = 100Kg/m^2$

c) *CV: Carga viva*

Se dan dos casos de carga viva:

- **En ambientes interiores:** $CV_{interiores} = 300Kg/m^2$
- **En pasadizos:** $CV_{pasadizos} = 400Kg/m^2$

d) *CVSUP: Carga viva superior*

Es la carga viva de la última losa, en este caso la carga viva de la losa inclinada.

e) *SISMOX: Carga sísmica en X*

Es la carga sísmica en el sentido X, en este caso es equivalente a la carga del espectro sísmico definido líneas arriba.

f) SISMOX: Carga sísmica en Y

Es la carga sísmica en el sentido Y, en este caso es equivalente a la carga del espectro sísmico definido líneas arriba.

La envolvente de dichas combinaciones es la que ofrece los máximos valores de diseño.

Se usará para nuestro análisis la envolvente: ENVOLVENTE RNE-02; la cual usa la combinación modal de la sumatoria de efectos del tipo absoluto y el SRSS.

6. Definición del peso de la edificación

El peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la Edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera, según el RNE E 030:

- a. En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50 % de la carga viva.
- b. En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25 % de la carga viva.
- c. En depósitos, el 80 % del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se tomará el 25 % de la carga viva.
- e. En estructuras de tanques, silos y estructuras similar se considerará el 100 % de la carga que puede contener.

Nuestra edificación se encuentra en la categoría A por ello se adicionará el 50 % de la carga viva.

7. Límites de desplazamiento lateral de entrepiso

Para verificar las derivas de entrepisos se usará el cuadro 11.1.

La deriva final D_f se calcula con la siguiente expresión:

$$D_f = 0,75 * R * D_i$$

donde D_i es la deriva resultante del análisis lineal elástico y R es el coeficiente de reducción sísmica ya descrito anteriormente.

Tabla 11.1. Límites para desplazamiento lateral de entrepiso

Límites para desplazamiento lateral de entrepiso	
Material predominante	D/h_e
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

11.2. Análisis de la estructura existente

La edificación existente cuenta con una estructura que no cumple con los requerimientos técnicos exigidos por el reglamento nacional de edificaciones específicamente el reglamento de diseño sísmo resistente E-030. Se hizo el respectivo análisis en el programa Etabs v 13.0 con las secciones y aceros especificadas en los planos de construcción. Ver figura 11.2 y ver planos de construcción existente en Anexo E.

Obteniéndose los siguientes resultados:

1. *La estructura no cumple con los requisitos de derivas laterales máximos permitidos.*

Como se puede observar en la figura 11.3, los valores de las derivas de la estructura existente en el sentido X son mayores a la deriva máxima reglamentaria de 0.007. Concluyendo entonces que la estructura no cumple con este requisito.

2. *Algunos elementos de la estructura no cumplen con las condiciones del radio de capacidad*

Esto es mostrado de color rojo en los ejes 1-1 y 7-7 al momento del cálculo del acero.

Siendo necesario el cambio de sección o el aumento del acero en las secciones indicadas. Ver figuras 11.4 y 11.5.

En conclusión la estructura de la edificación existente no cumple con los requerimientos especificados en el reglamento nacional de edificaciones. Siendo necesario

modificar las secciones de los elementos y aceros.

11.3. Análisis y diseño de estructura propuesta

Con el fin de ofrecer una estructura que cumpla con los requerimientos técnicos del RNE se presenta a la estructura con algunas modificaciones en sus secciones y adición de muros. Ver figura 11.6.

Como se puede observar en la figura 11.6, se hicieron los siguientes cambios:

- La columnas entre los ejes 1-1 y E-E, 1-1 y F-F, 1-1 y H-H, 7-7 y E-E, 7-7 y F-F, 7-7 y II-II cambiaron de dimensión ángulo de 60x60 a ángulo de 80x80.
- Se adicionan dos muros ubicados en el eje E-E entre los ejes 4-4 y 5-5 y el muro ubicado en el eje II-II entre los ejes 4-4 y 5-5. Ambos de espesor 25 cm

1. Análisis de la estructura con ETABS V 13.0

La estructura ha sido analizada con el uso del programa Etabs v 13.0, insertando la geometría y demás datos correspondientes se tiene el modelamiento tal como se muestra en la figura 11.7

2. Verificación del análisis

- a) *La estructura cumple con los requisitos de derivas máximas permitidas.*

Como se puede observar en la figura 11.8, todos los valores de las derivas de la estructura en análisis son menores a la deriva máxima reglamentaria de 0.007. Concluyendo entonces que se cumple con este requisito.

- b) *La estructura cumple con las condiciones del radio de capacidad.*

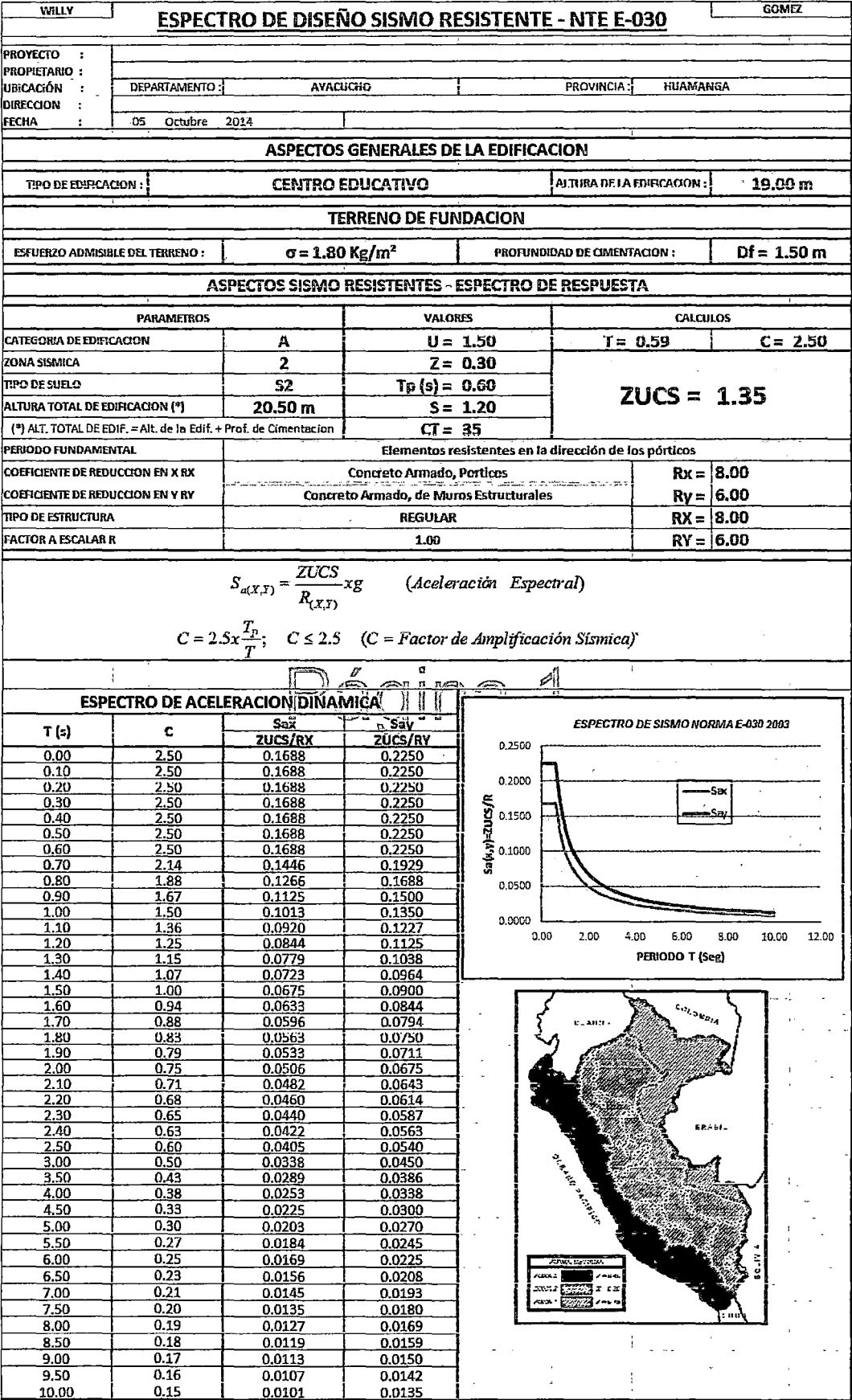
Como se podrá observar en los resultados del análisis en las figuras del diseño de los elementos de concreto se cumple con dicho requisito.

3. Resultados de análisis

a) Diagramas de momento flector.

Usando la combinación de carga ENVOLVENTE RNE-02 se muestra en las figura 11.9,11.10,11.11,11.12,11.13,11.14,11.15,11.16, se muestran los diagramas de momento flector correspondientes a los ejes 1-1,2-2,3-3,4-4,5-5,6-6,7-7 y 8-8 respectivamente en el sentido Y y en unidades ton-m.

Ademas se muestran en las figuras 11.17,11.18,11.19,11.20 los diagramas de momento flector correspondientes a los ejes D-D,E-E,F-F y H-H respectivamente en el sentido X y en unidades ton-m.



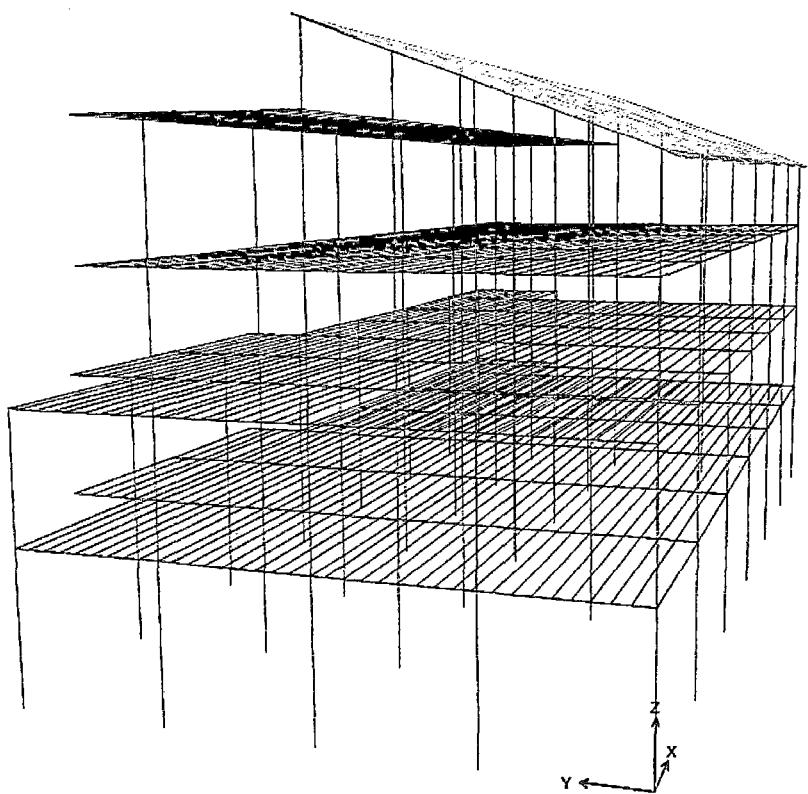


Figura 11.2. Calculo de estructura existente en programa Etabs v13

PISO	CASO DE CARGA SISMICO	SENTIDO	DERIVA (Di)	DERIVA REGLAMENTO	R	DERIVA FINAL $D_f=0.75 \cdot R \cdot D$	CONDICION	DIFERENCIA
PISO4	ENVOLVENTE RNE-02	X	0.0017	0.007	8.0	0.0104	No cumple	0.0034
PISO4	ENVOLVENTE RNE-02	Y	0.0005	0.007	6.0	0.0020	Cumple	
PISO3	ENVOLVENTE RNE-02	X	0.0030	0.007	8.0	0.0181	No cumple	0.0111
PISO3	ENVOLVENTE RNE-02	Y	0.0006	0.007	6.0	0.0025	Cumple	
PISO2	ENVOLVENTE RNE-02	X	0.0032	0.007	8.0	0.0193	No cumple	0.0123
PISO2	ENVOLVENTE RNE-02	Y	0.0006	0.007	6.0	0.0029	Cumple	
PISO1	ENVOLVENTE RNE-02	X	0.0029	0.007	8.0	0.0172	No cumple	0.0102
PISO1	ENVOLVENTE RNE-02	Y	0.0006	0.007	6.0	0.0028	Cumple	

Figura 11.3. Resultados de derivas máximas

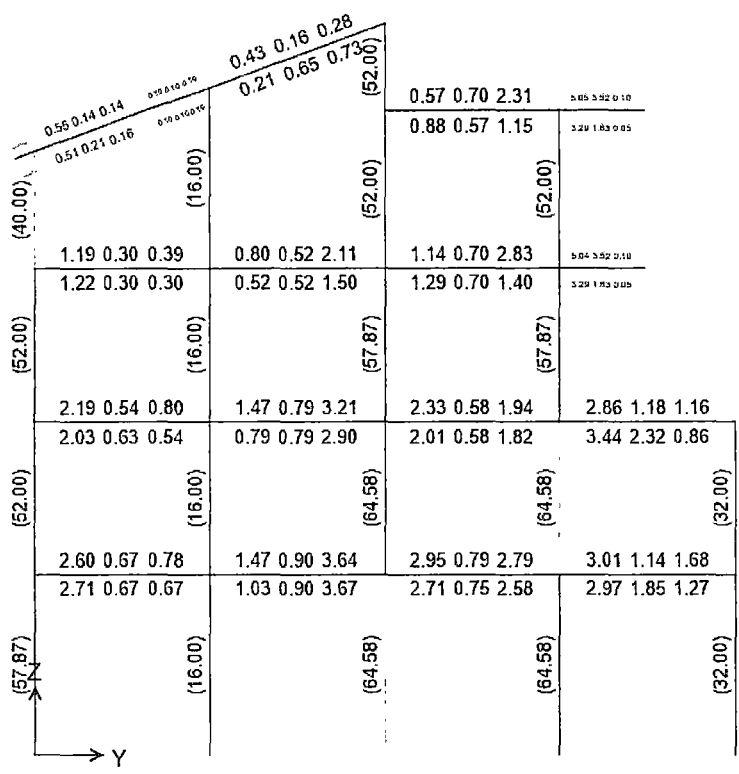


Figura 11.4. Eje 1-1, calculo por chequeo de acero de la estructura existente.

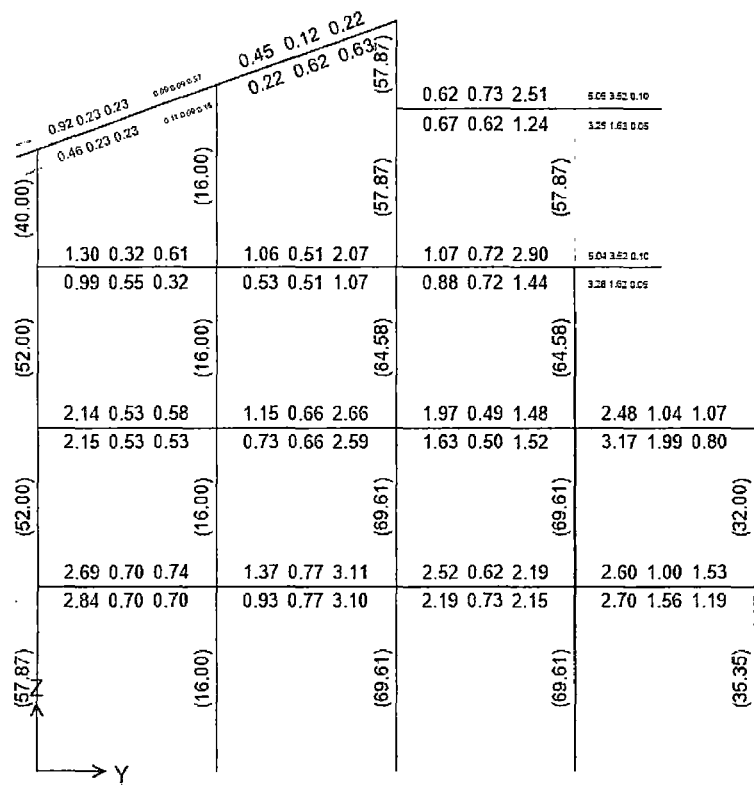


Figura 11.5. Eje 7-7, calculo por chequeo de acero de la estructura existente.

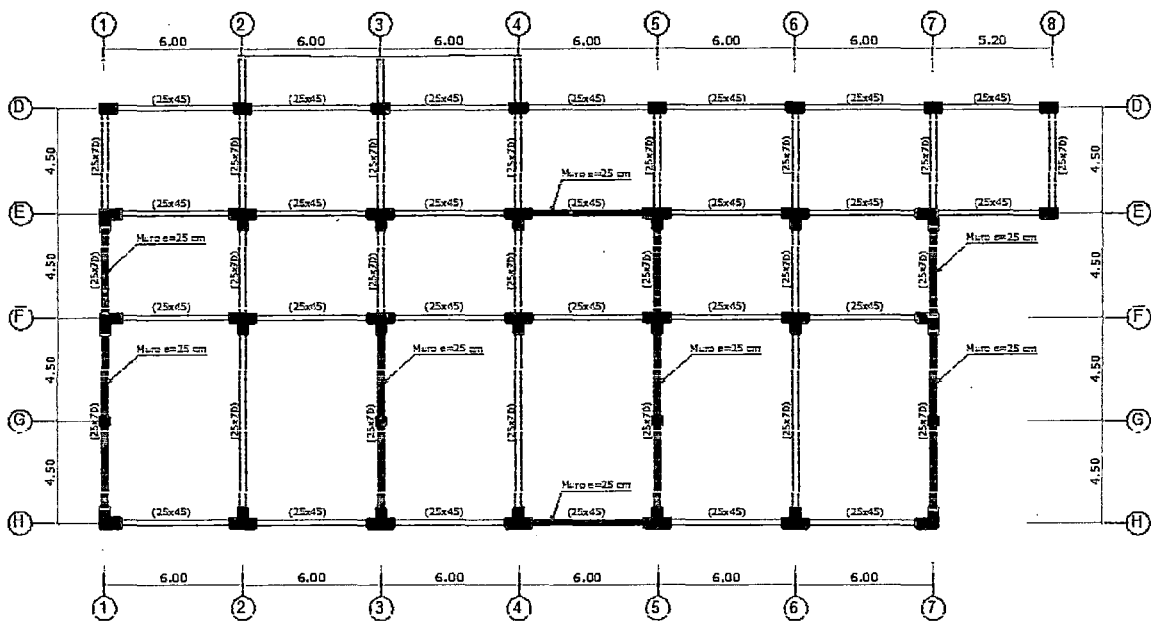


Figura 11.6. Configuración estructural modificada para cumplimiento de solicitaciones del RNE

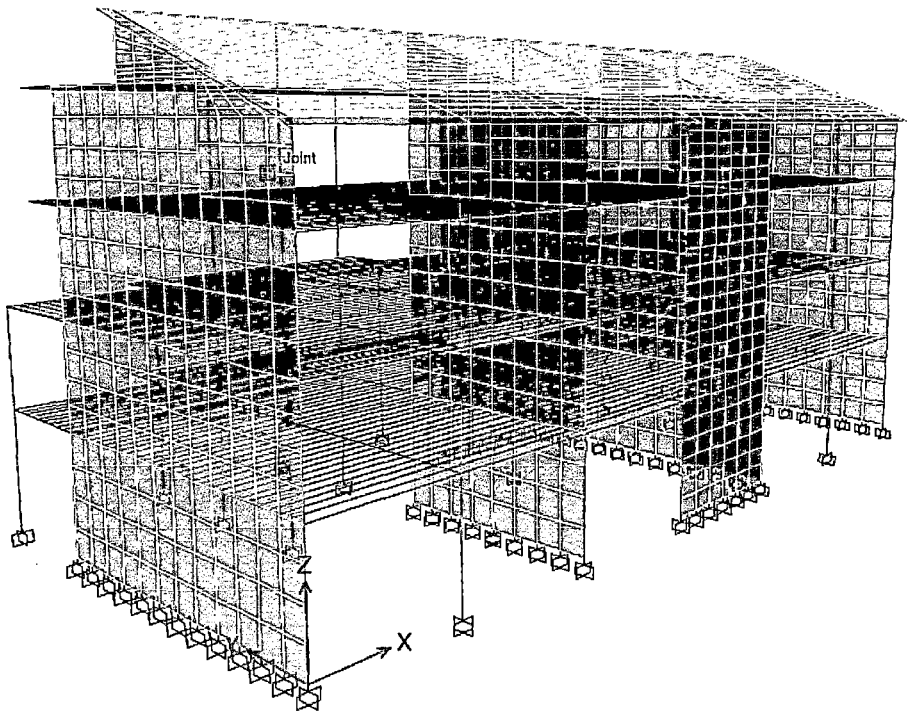


Figura 11.7. Modelamiento de la estructura propuesta en Etabs V13.0

PISO	CASO DE CARGA SISMICO	SENTIDO	DERIVA (Di)	DERIVA REGLAMENTO	R	DERIVA FINAL $D_f=0.75 \cdot R \cdot D$	CONDICION
PISO4	ENVOLVENTE RNE-02	X	0.00047	0.007	8.0	0.0028	Cumple
PISO4	ENVOLVENTE RNE-02	Y	0.00046	0.007	6.0	0.0021	Cumple
PISO3	ENVOLVENTE RNE-02	X	0.00076	0.007	8.0	0.0046	Cumple
PISO3	ENVOLVENTE RNE-02	Y	0.00040	0.007	6.0	0.0018	Cumple
PISO2	ENVOLVENTE RNE-02	X	0.00087	0.007	8.0	0.0052	Cumple
PISO2	ENVOLVENTE RNE-02	Y	0.00045	0.007	6.0	0.0020	Cumple
PISO1	ENVOLVENTE RNE-02	X	0.00086	0.007	8.0	0.0052	Cumple
PISO1	ENVOLVENTE RNE-02	Y	0.00044	0.007	6.0	0.0020	Cumple

Figura 11.8. Resultados de derivas máximas

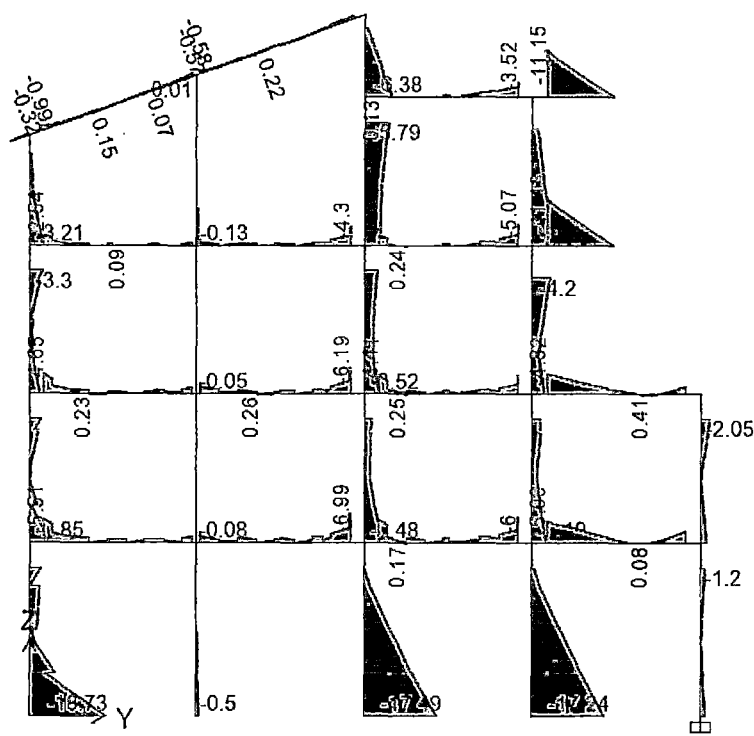


Figura 11.9. Diagrama de momento flector c/c 1-1

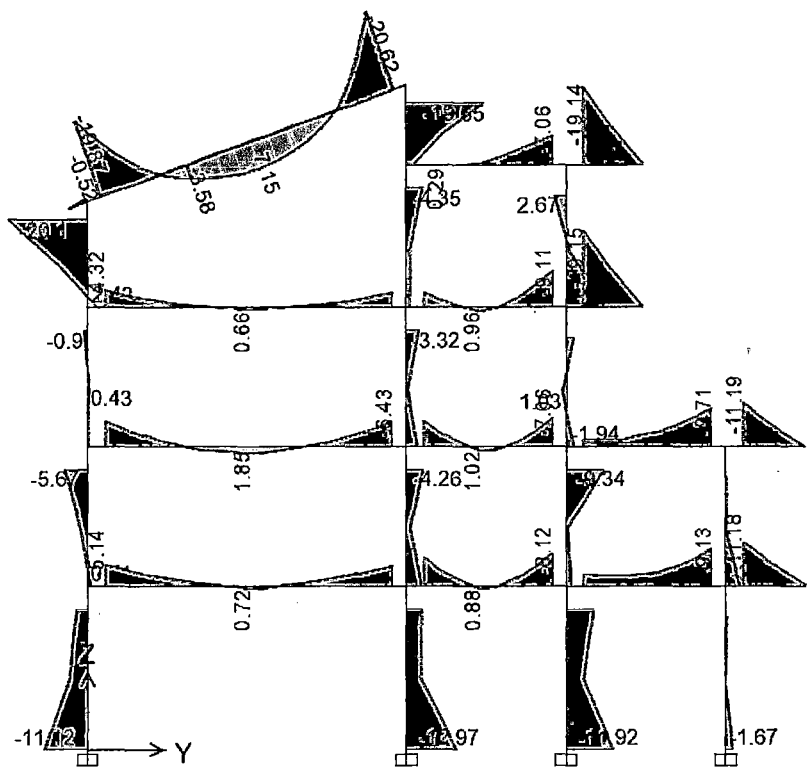


Figura 11.10. Diagrama de momento flector eje 2-2

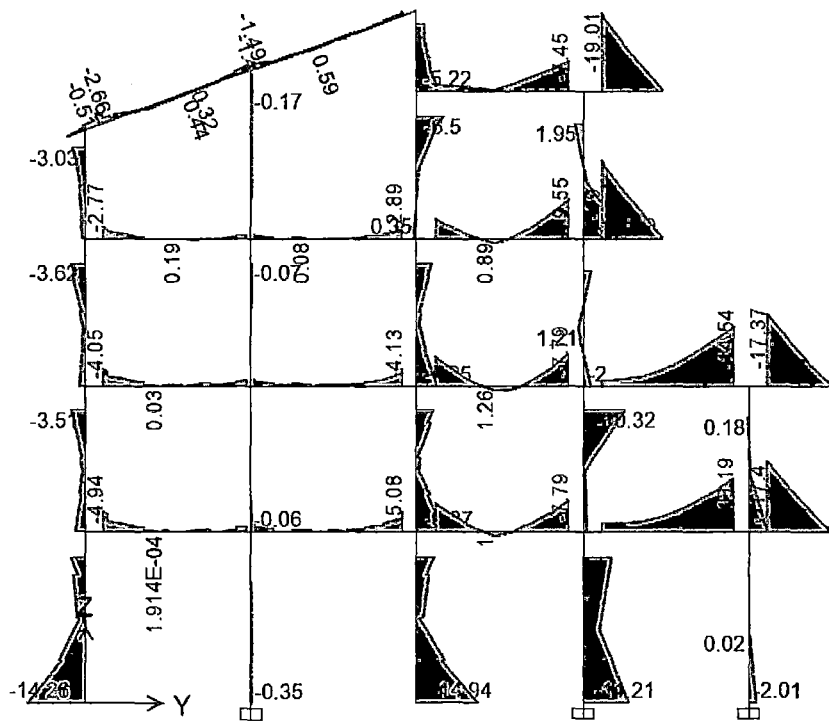


Figura 11.11. Diagrama de momento flector eje 3-3

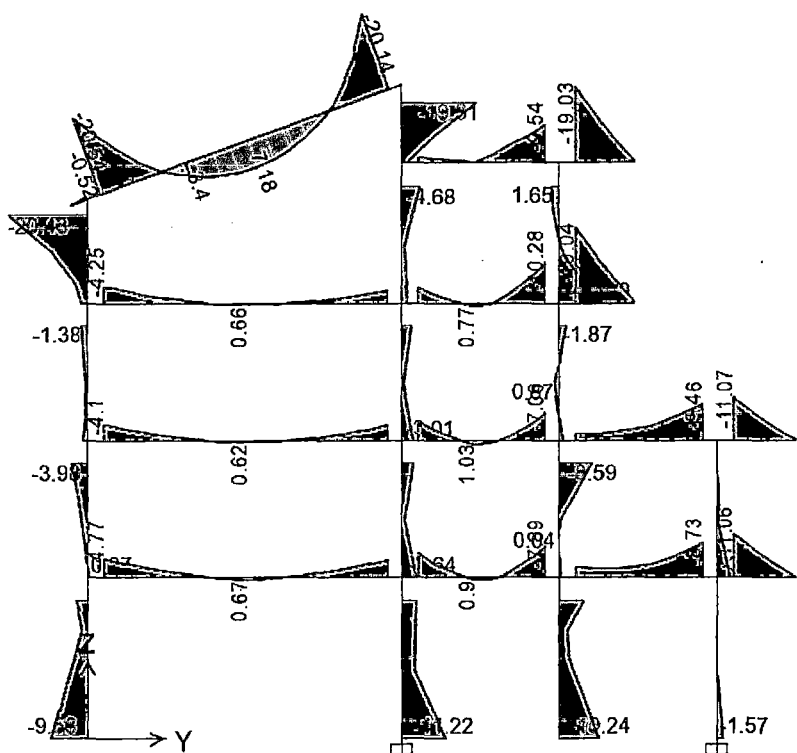


Figura 11.12. Diagrama de momento flector eje 4-4

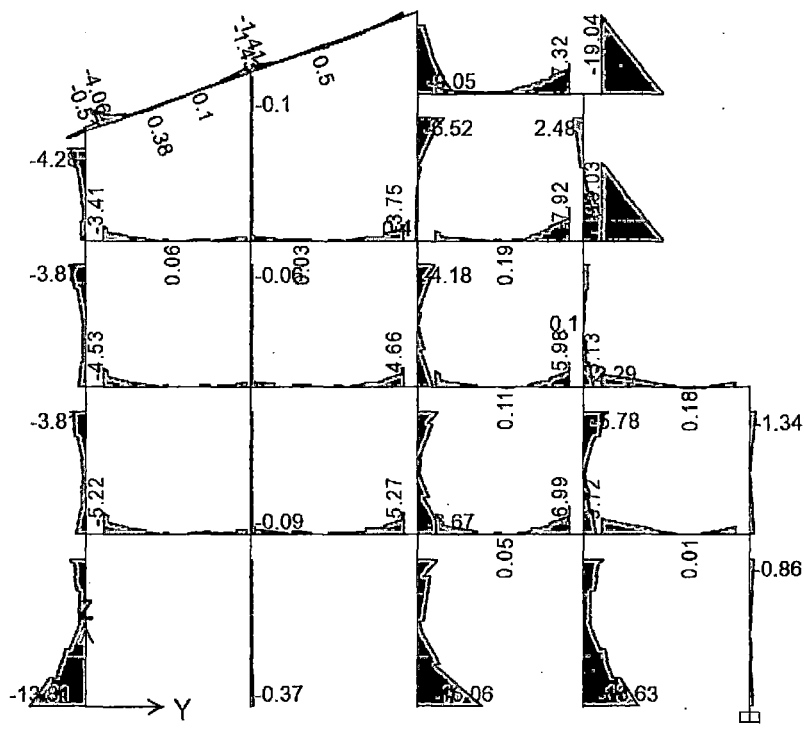


Figura 11.13. Diagrama de momento flector eje 5-5

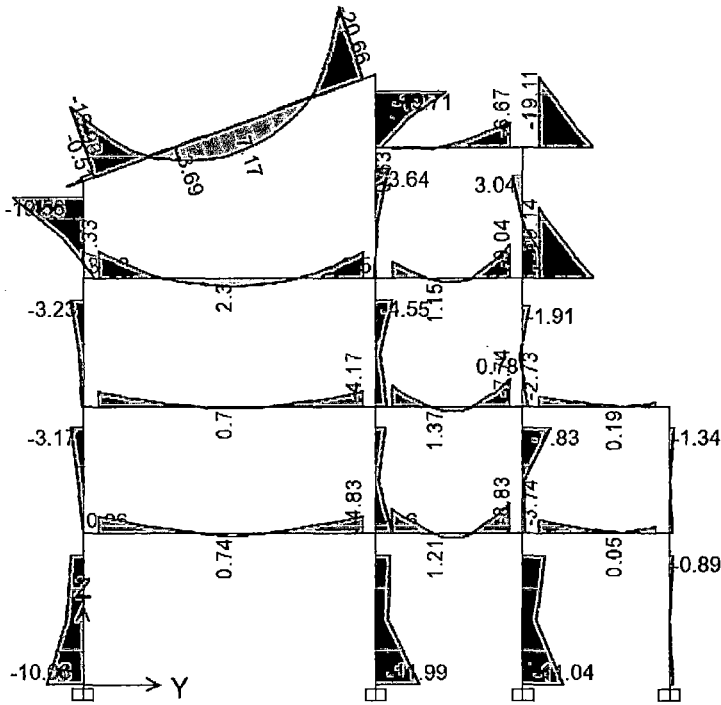


Figura 11.14. Diagrama de momento flector eje 6-6

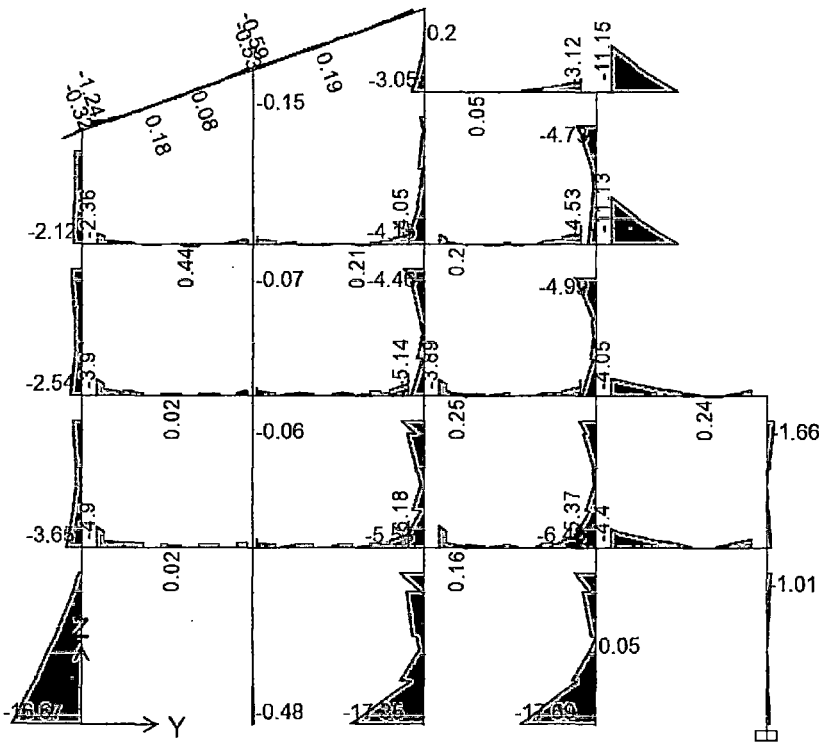


Figura 11.15. Diagrama de momento flector eje 7-7

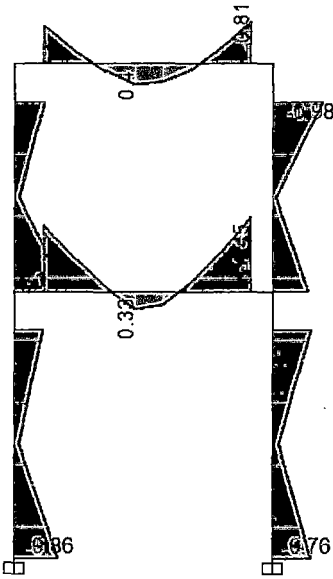


Figura 11.16. Diagrama de momento flector eje 8-8

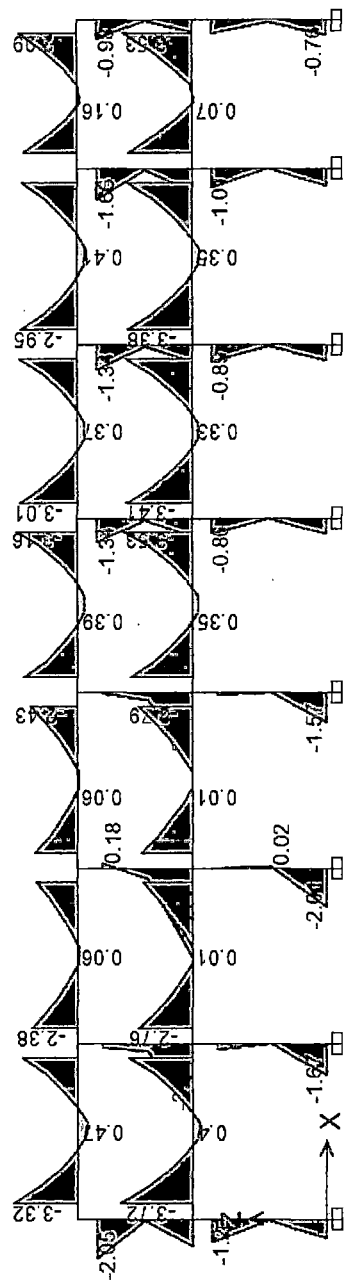


Figura 11.17. Diagrama de momento flector eje D-D

b) *Diagramas de Fuerza cortante.*

En las figuras 11.21,11.22,11.23,11.24,11.25,11.26,11.27,11.28 se muestra los diagramas de fuerza cortante correspondientes a los ejes 1-1,2-2,3-3,4-4,5-5,6-6,7-7 y 8-8 respectivamente en el sentido Y y en unidades ton.

Ademas se muestran en las figuras 11.29,11.30,11.31,11.32 los diagramas de fuerza cortante correspondientes a los ejes D-D,E-E,F-F y H-H respec-

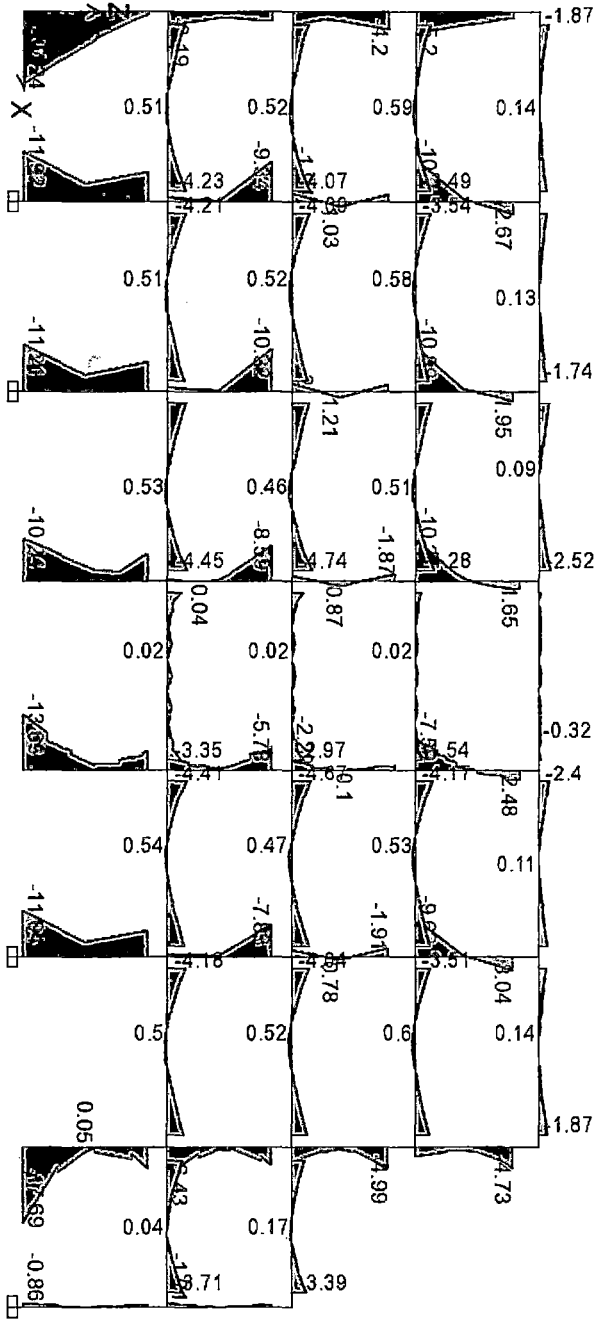


Figura 11.18. Diagrama de momento flector eje E-E

tivamente en el sentido X y en unidades ton.

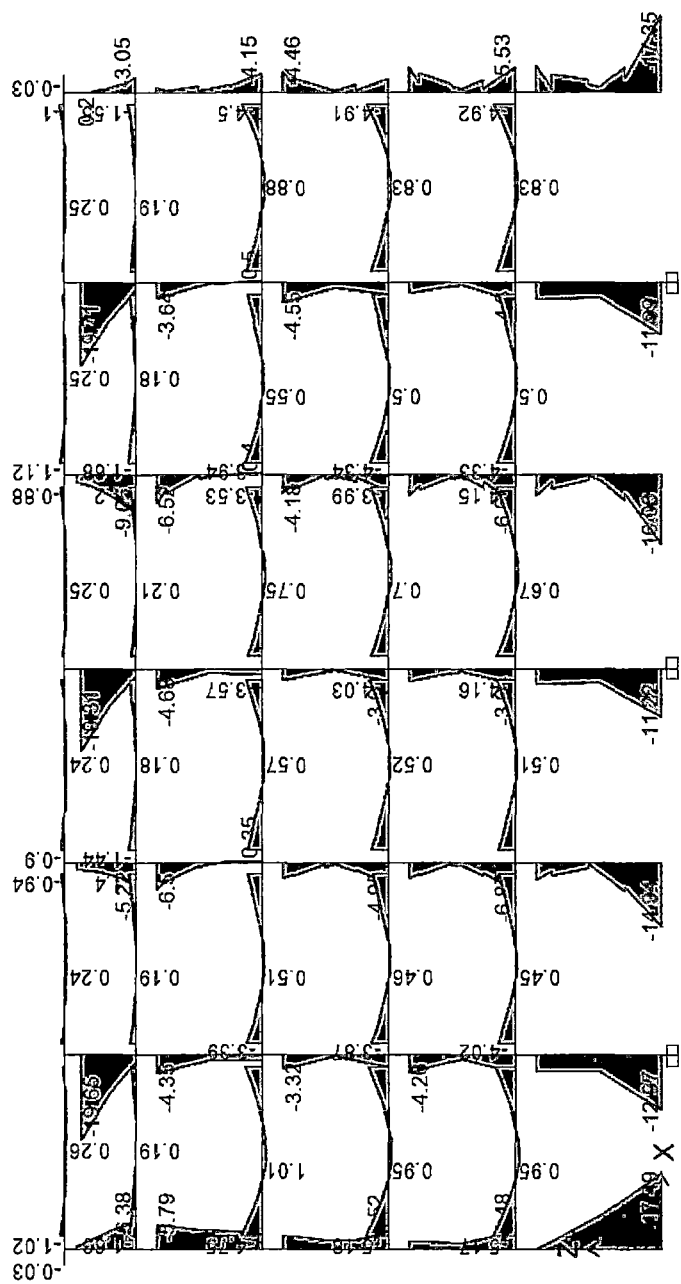


Figura 11.19. Diagrama de momento flector eje F-F

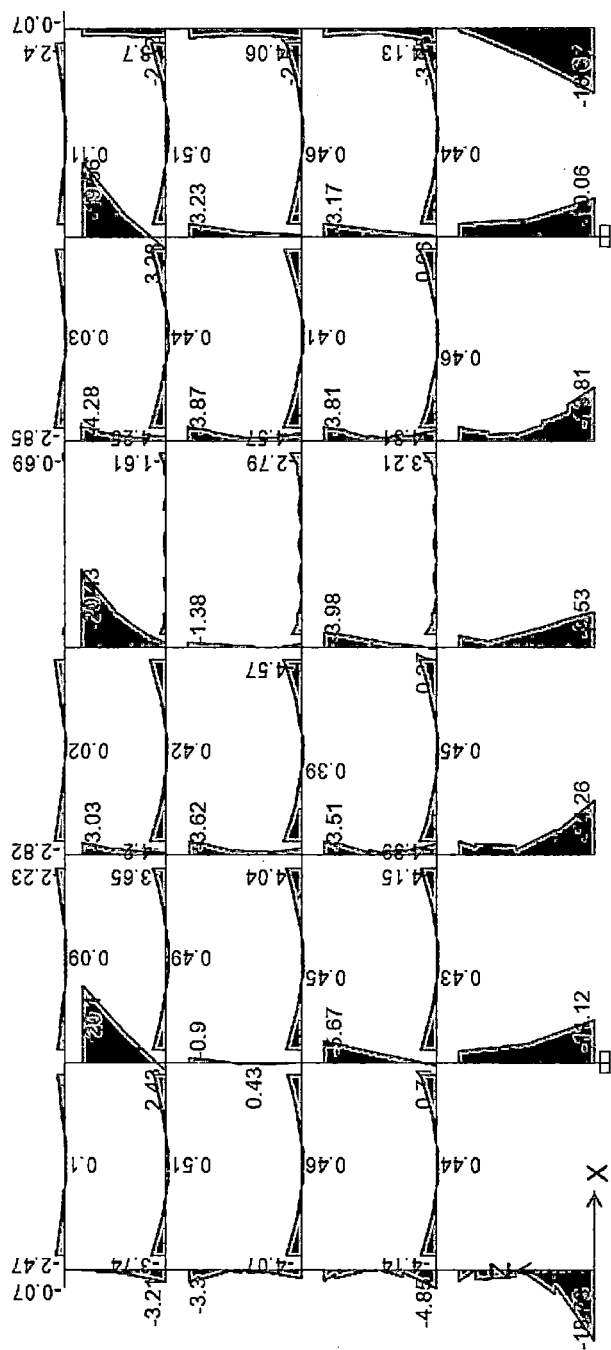


Figura 11.20. Diagrama de momento flector eje H-H

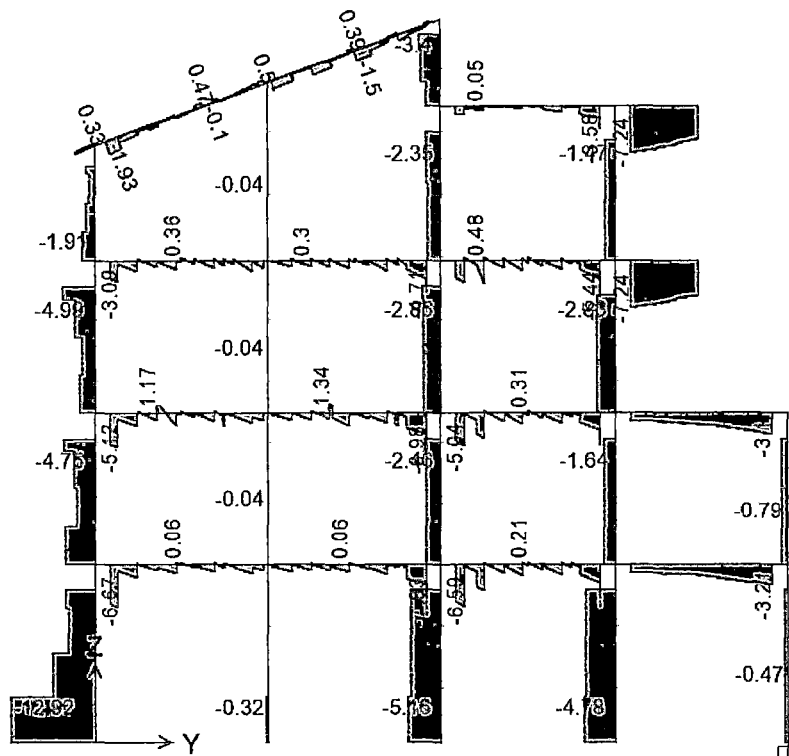


Figura 11.21. Diagrama de fuerza cortante eje 1-1

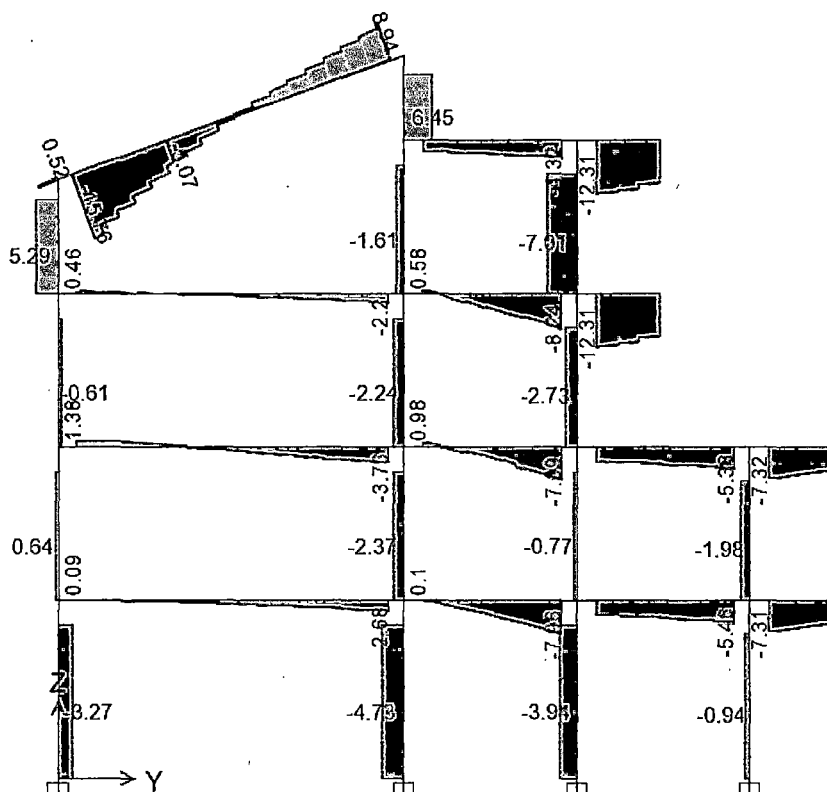


Figura 11.22. Diagrama de fuerza cortante eje 2-2

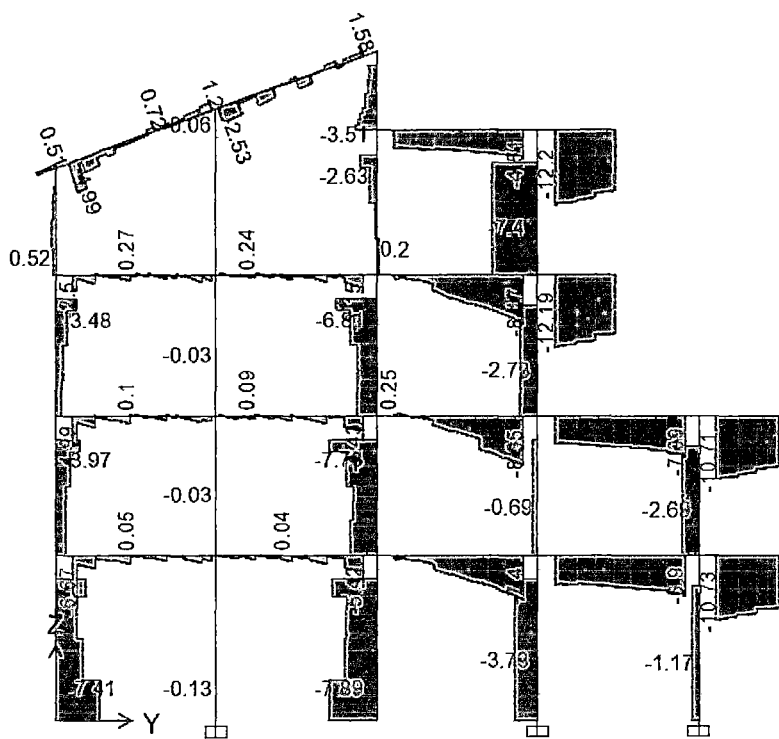


Figura 11.23. Diagrama de fuerza cortante eje 3-3

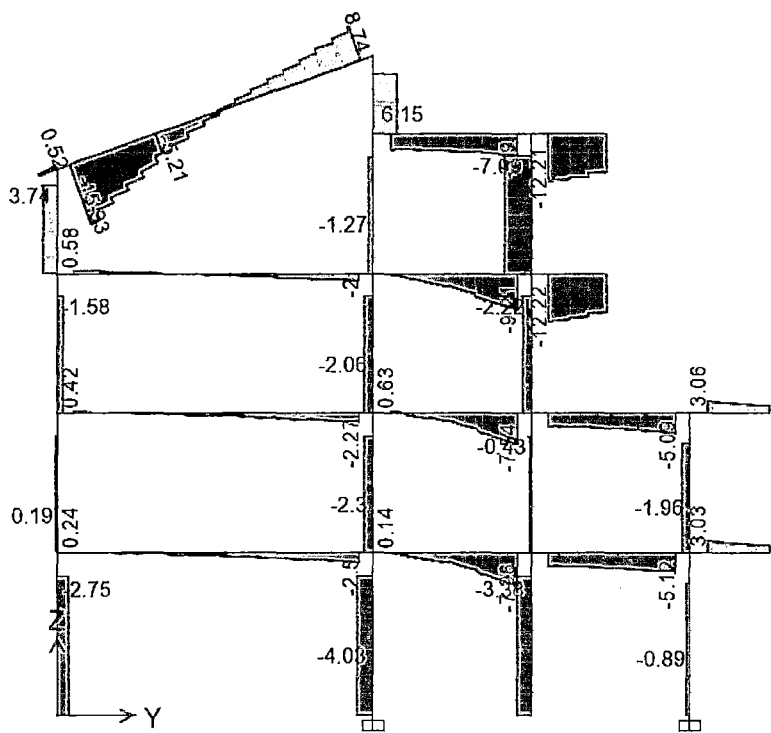


Figura 11.24. Diagrama de fuerza cortante eje 4-4

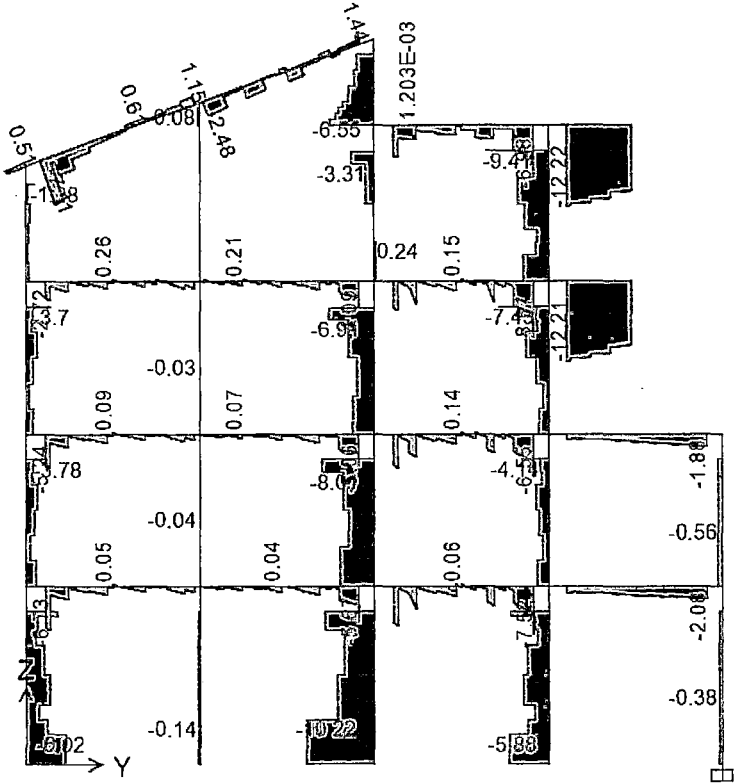


Figura 11.25. Diagrama de fuerza cortante eje 5-5

c) *Diagramas de Fuerza axial.*

En las figuras 11.33,11.34,11.35,11.36,11.37,11.38,11.39,11.40 se muestra los diagramas de fuerza axial correspondientes a los ejes 1-1,2-2,3-3,4-4,5-5,6-6,7-7 y 8-8 respectivamente en el sentido Y y en unidades ton.

Ademas se concluye que la máxima carga axial presente en la estructura se da en la columna ubicada entre los ejes 4-4 y E-E y es de 321779 Kg-f.

d) *Calculo de los aceros para las diferentes secciones de concreto.*

La estructura no presenta observaciones al momento del calculo de los aceros para las secciones de concreto.

Como se puede observar en las figuras 11.41,11.42,11.43,11.44,11.45,11.46,11.47,11.48, se muestra los aceros calculados para los elementos de los ejes 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6, 7-7 y 8-8 respectivamente.

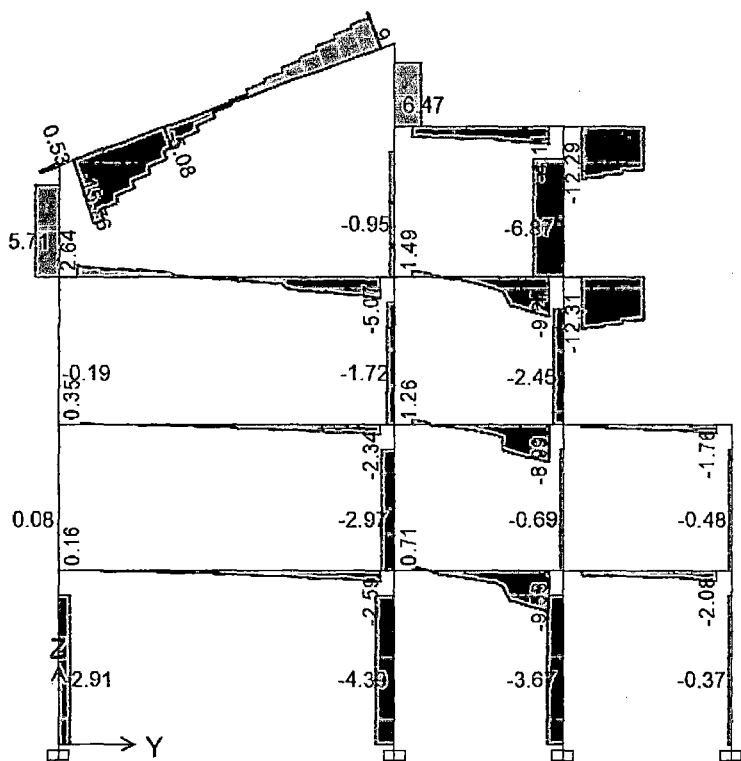


Figura 11.26. Diagrama de fuerza cortante eje 6-6

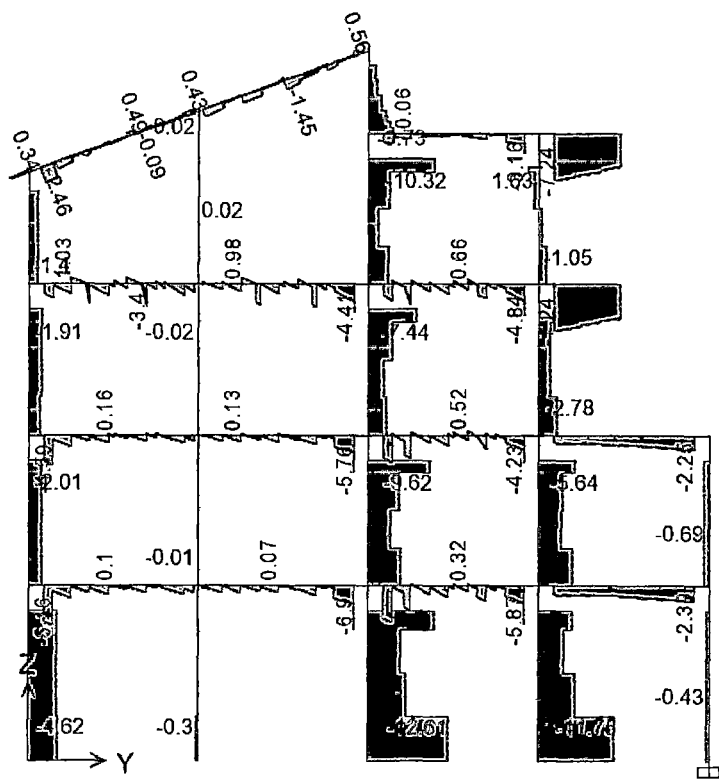


Figura 11.27. Diagrama de fuerza cortante eje 7-7

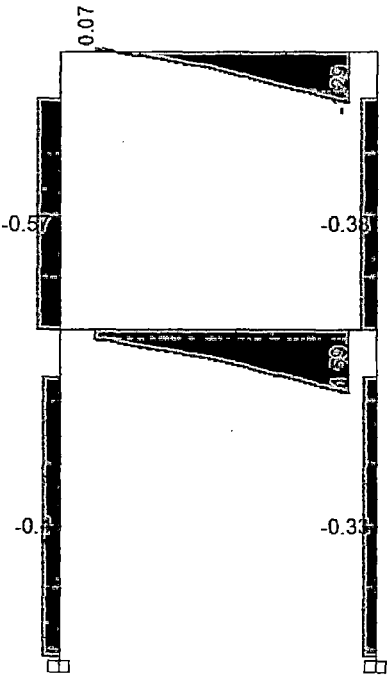


Figura 11.28. Diagrama de fuerza cortante eje 8-8

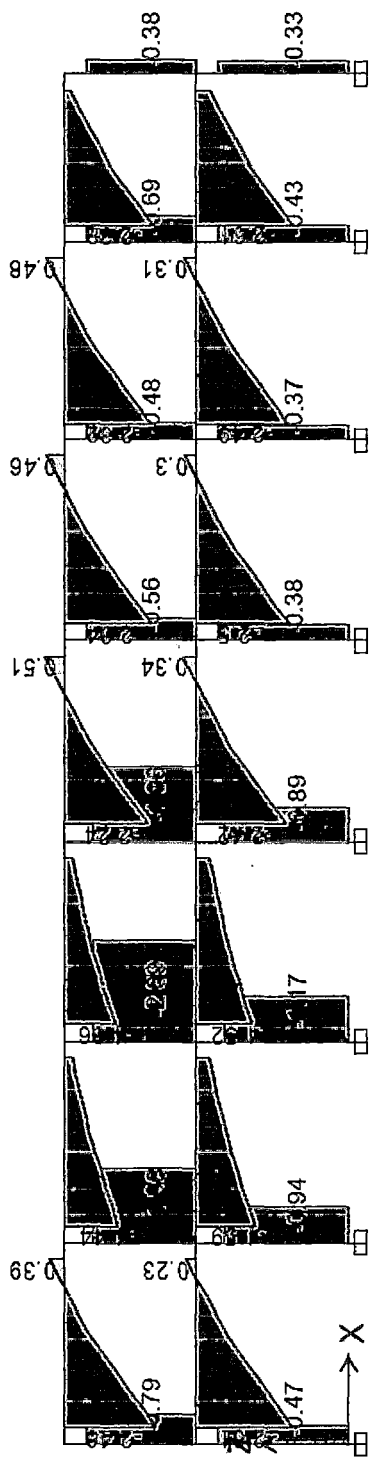


Figura 11.29. Diagrama de fuerza cortante eje D-D

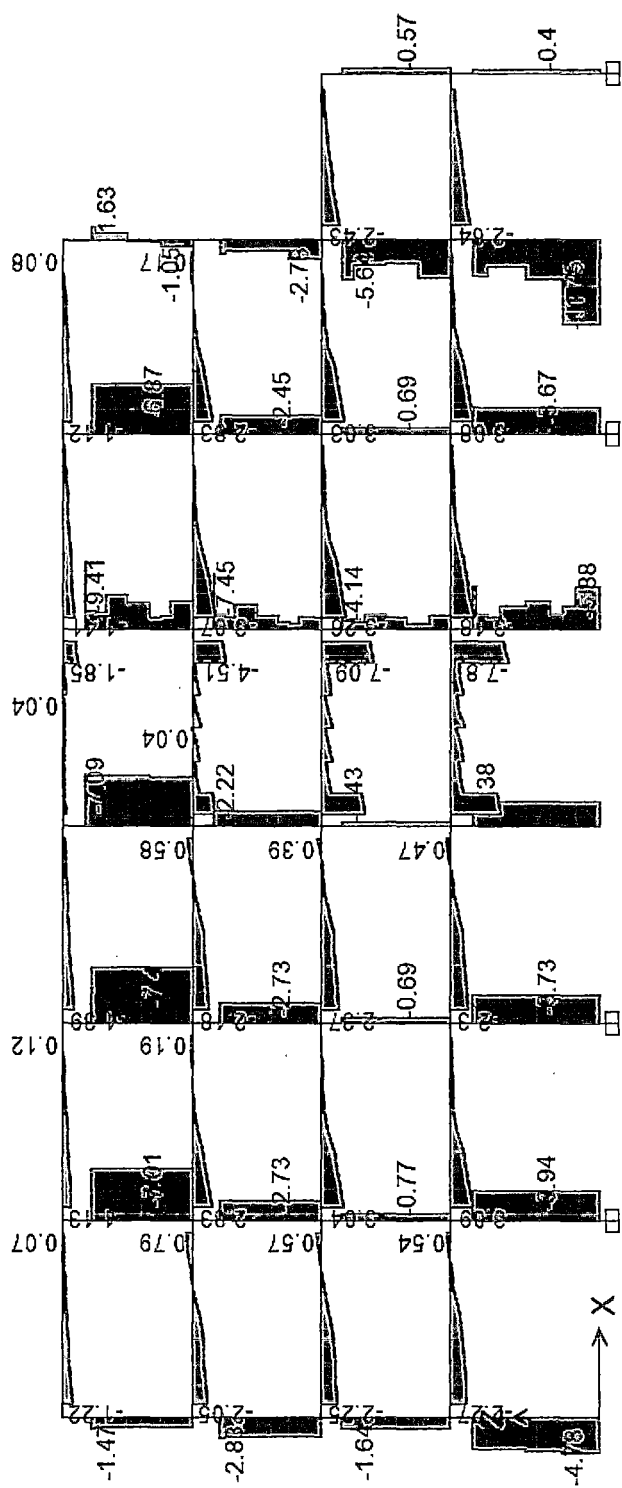


Figura 11.30. Diagrama de fuerza cortante eje E-E

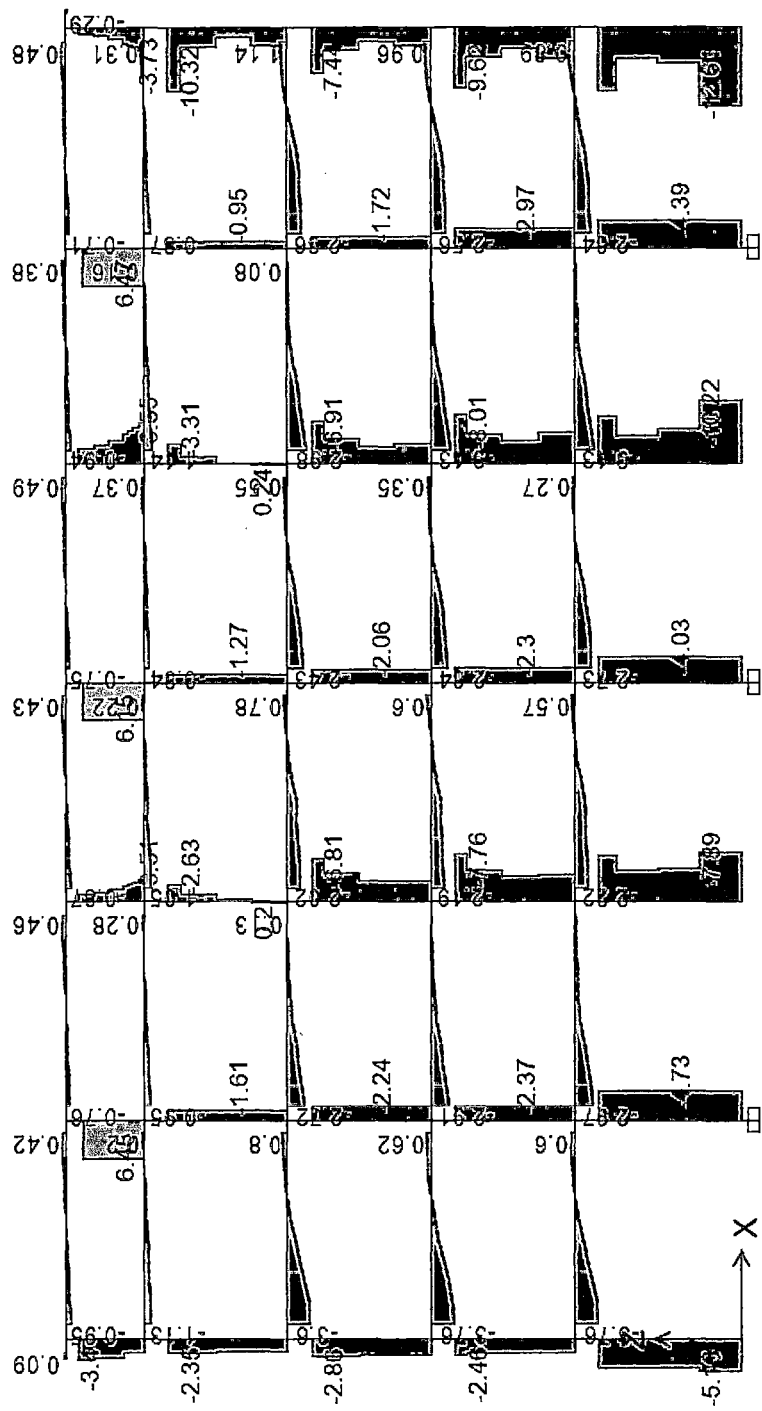


Figura 11.31. Diagrama de fuerza cortante eje F-F

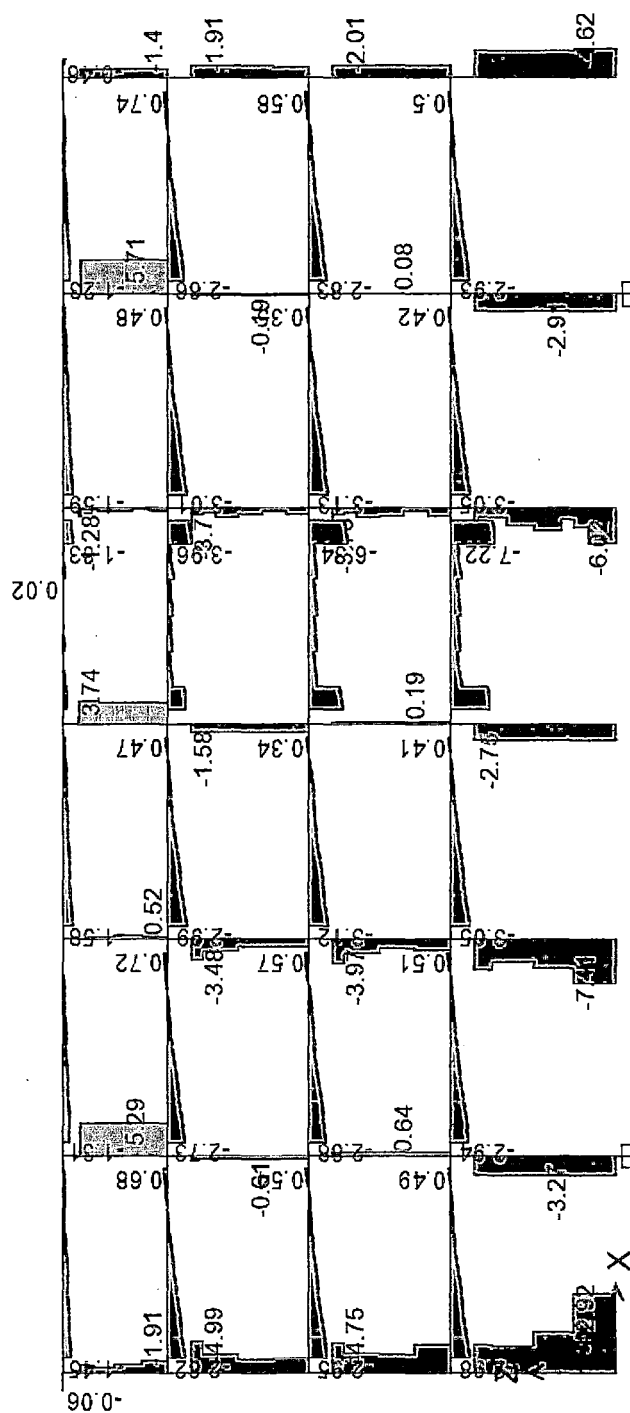


Figura 11.32. Diagrama de fuerza cortante eje H-H

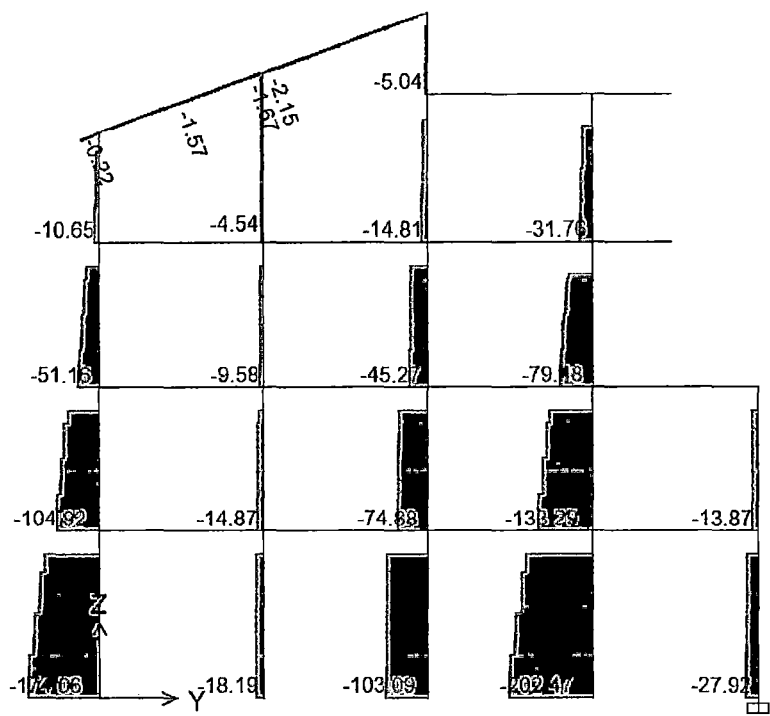


Figura 11.33. Diagrama de fuerza axial eje 1-1

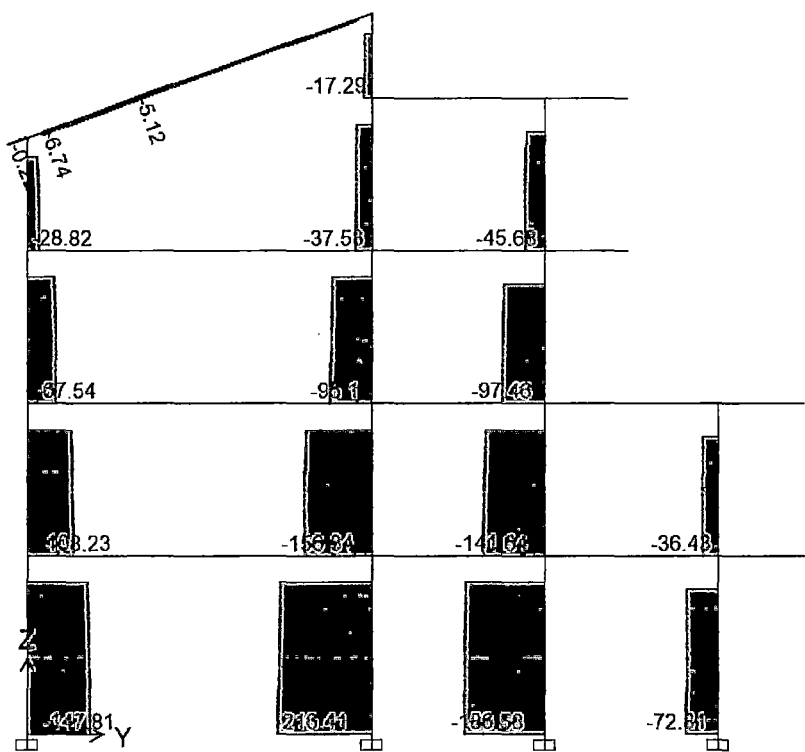


Figura 11.34. Diagrama de fuerza axial eje 2-2

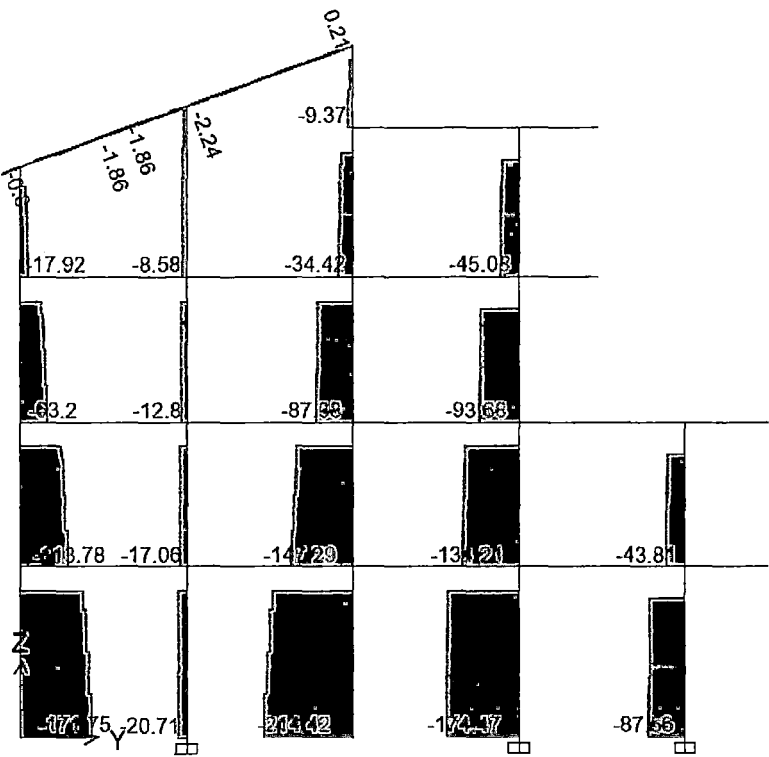


Figura 11.35. Diagrama de fuerza axial eje 3-3

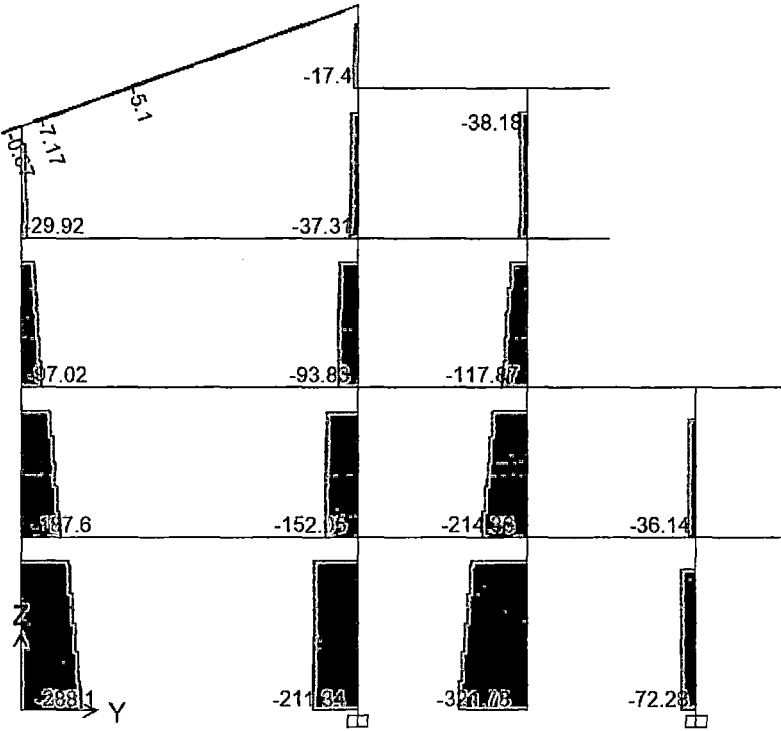


Figura 11.36. Diagrama de fuerza axial eje 4-4

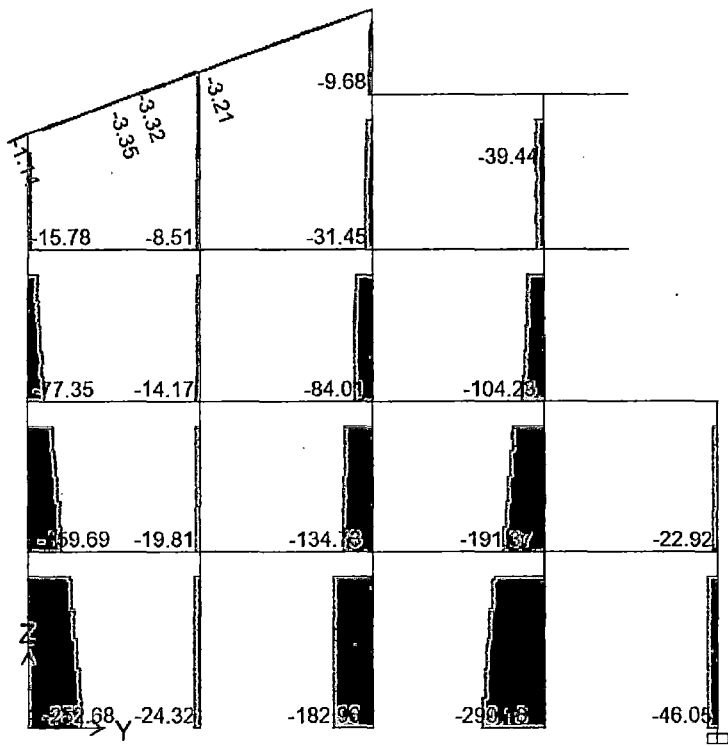


Figura 11.37. Diagrama de fuerza axial eje 5-5

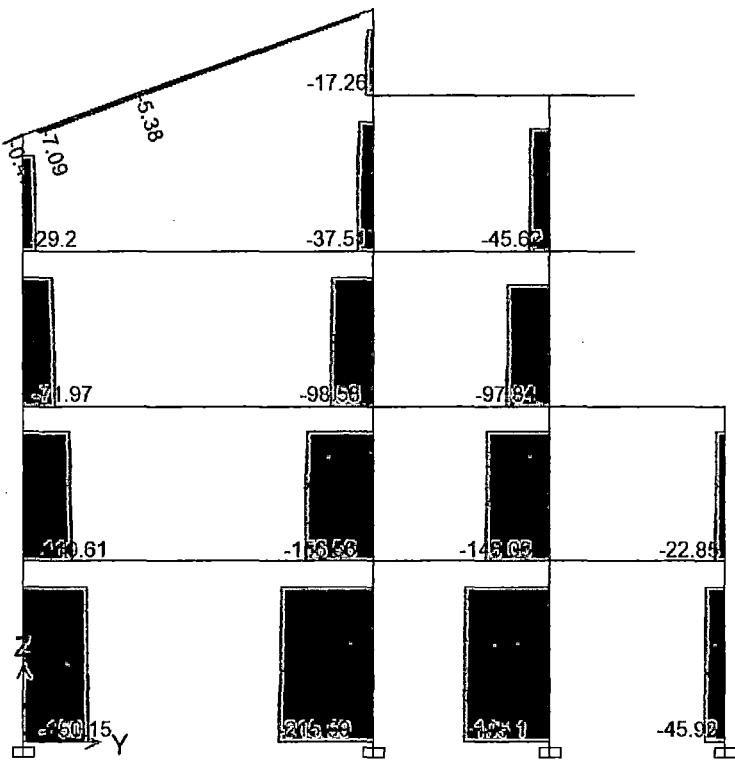


Figura 11.38. Diagrama de fuerza axial eje 6-6

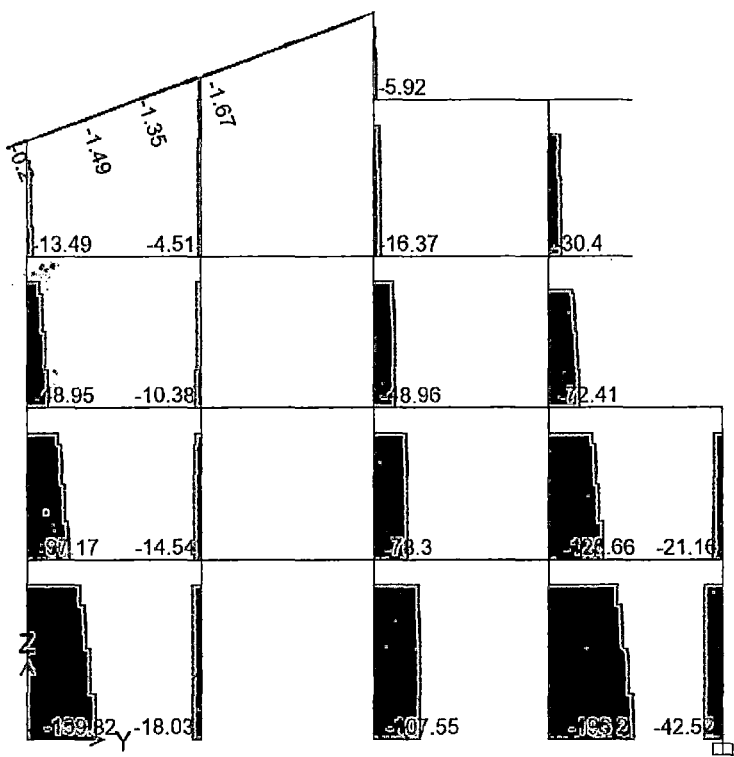


Figura 11.39. Diagrama de fuerza axial eje 7-7

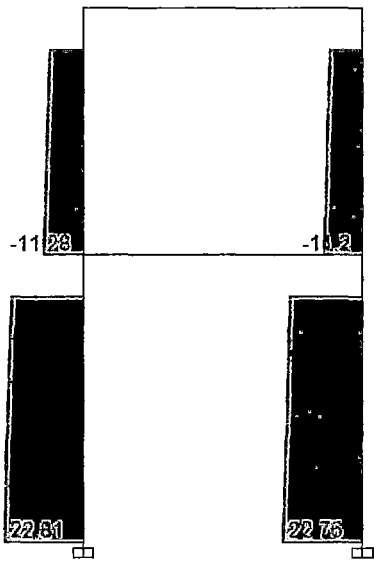


Figura 11.40. Diagrama de fuerza axial eje 8-8

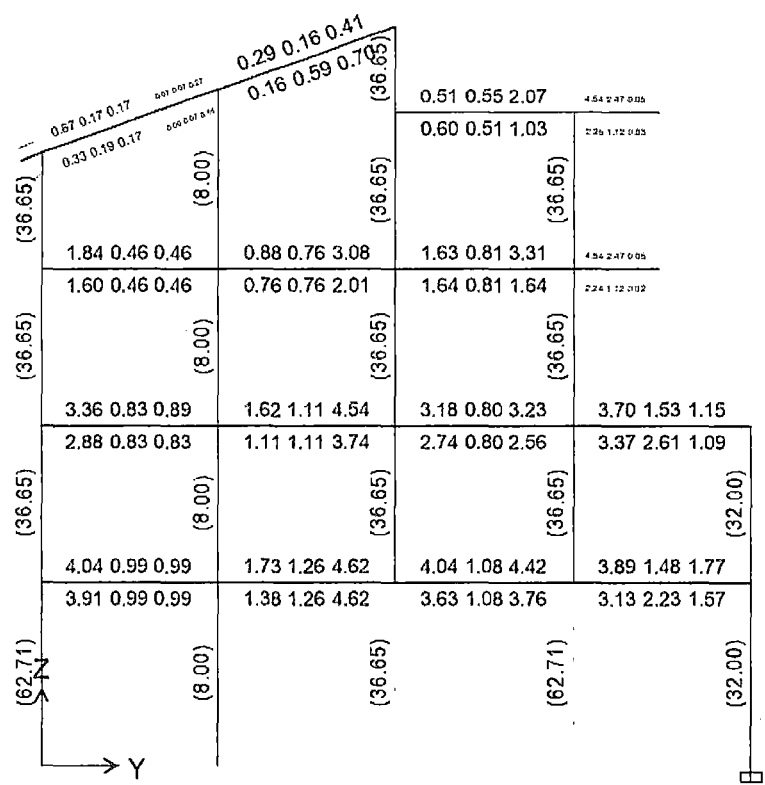


Figura 11.41. Calculo del acero para el eje 1-1

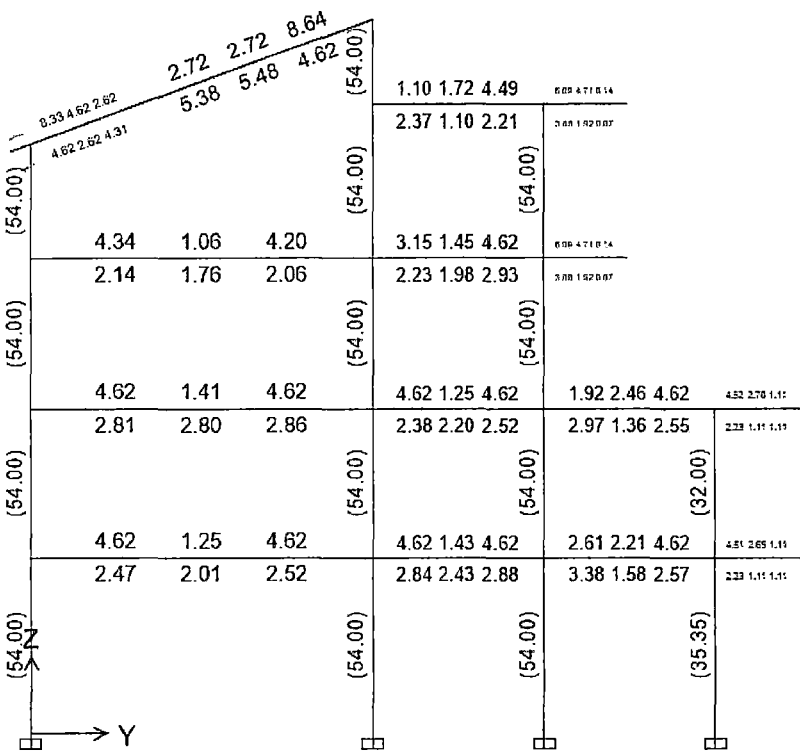


Figura 11.42. Calculo del acero para el eje 2-2

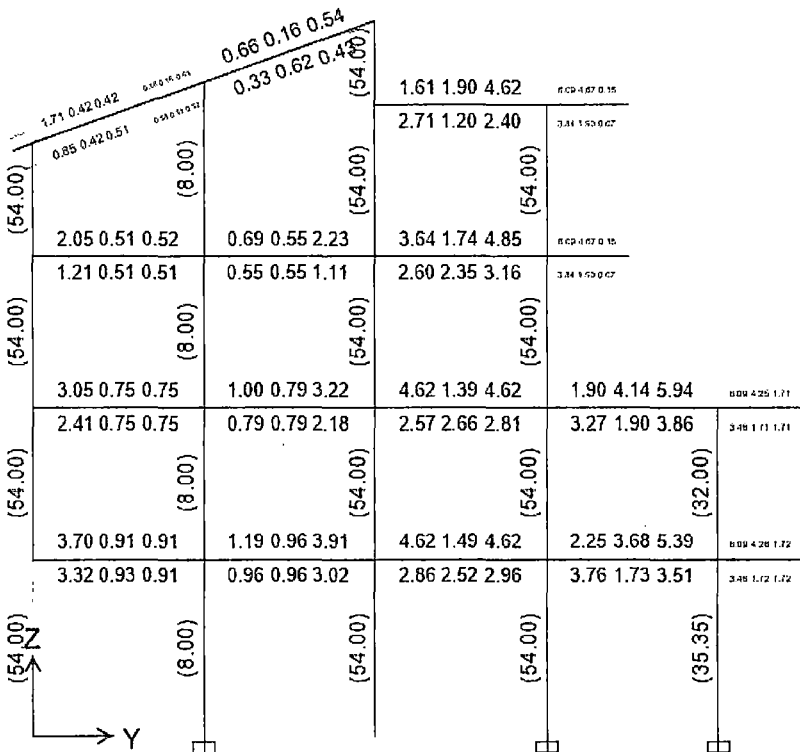


Figura 11.43. Calculo del acero para el eje 3-3

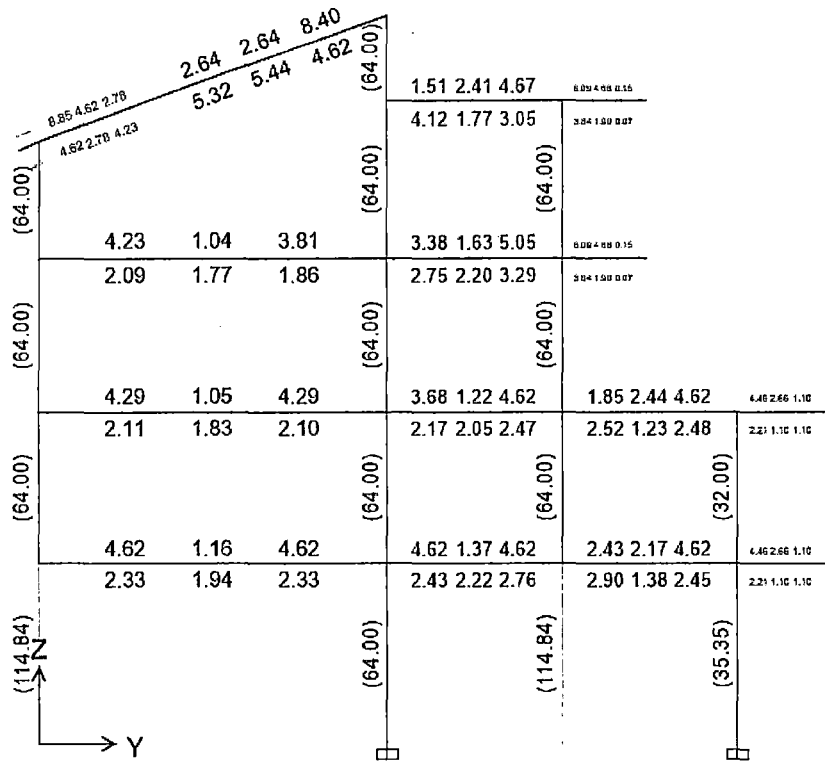


Figura 11.44. Calculo del acero para el eje 4-4

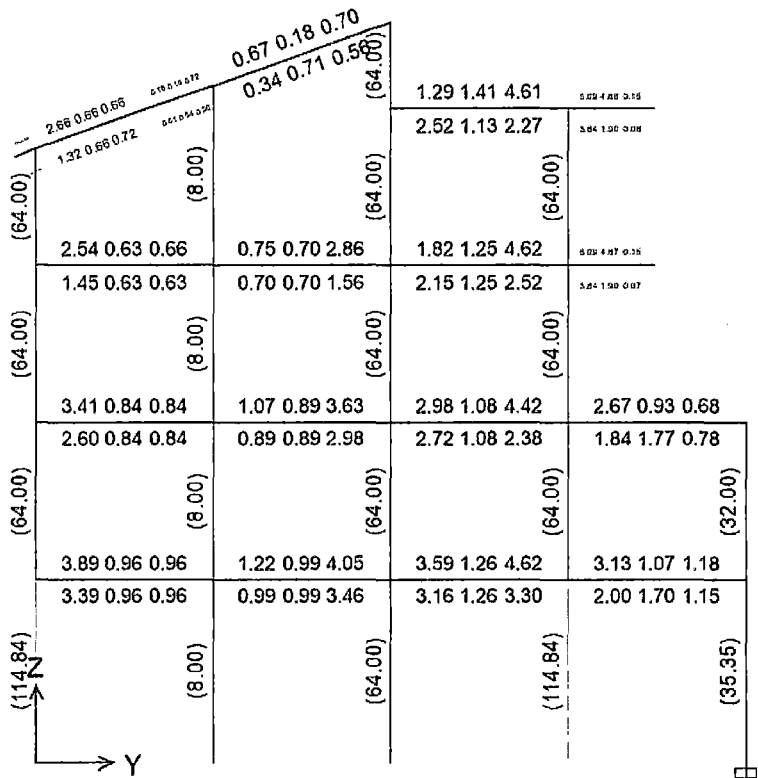


Figura 11.45. Calculo del acero para el eje 5-5

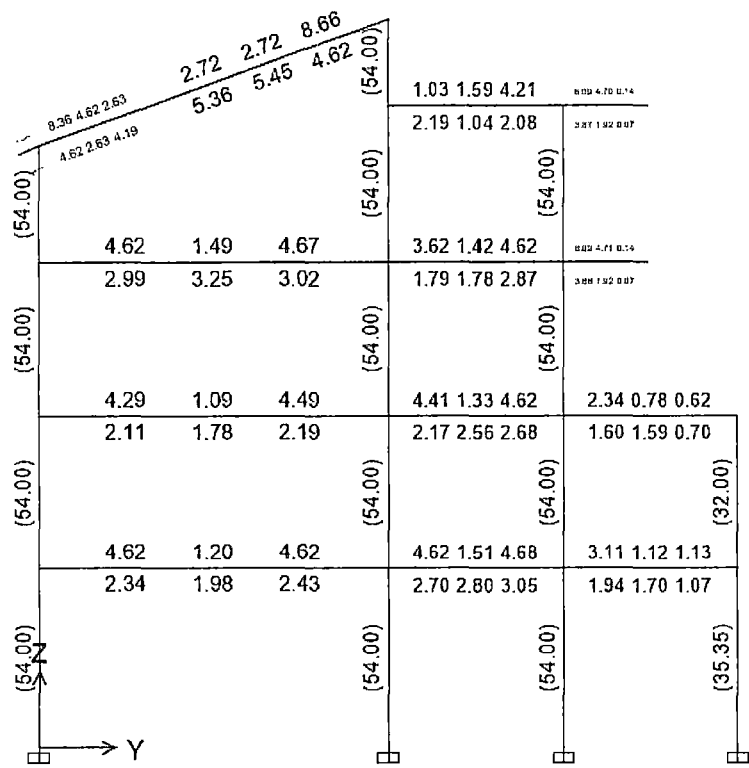


Figura 11.46. Calculo del acero para el eje 6-6

e) *Resultados de la disposición del acero en elementos de concreto.*

De acuerdo al resultado de los aceros se hace la disposición de las barras de acero en las secciones de los elementos. Para las columnas existen dos tipos de pórticos representativos para la distribución de las barras de acero y se muestra en las figuras 11.49,11.50.

Las secciones con los aceros dispuestos se muestran en la figura 11.51 y en la figura 11.52 se muestra los tipos de sección para cada eje de la estructura.(Usar las figuras 11.49 y 11.50 para correlación)

Para las vigas se muestran los resultados en los planos del anexo E

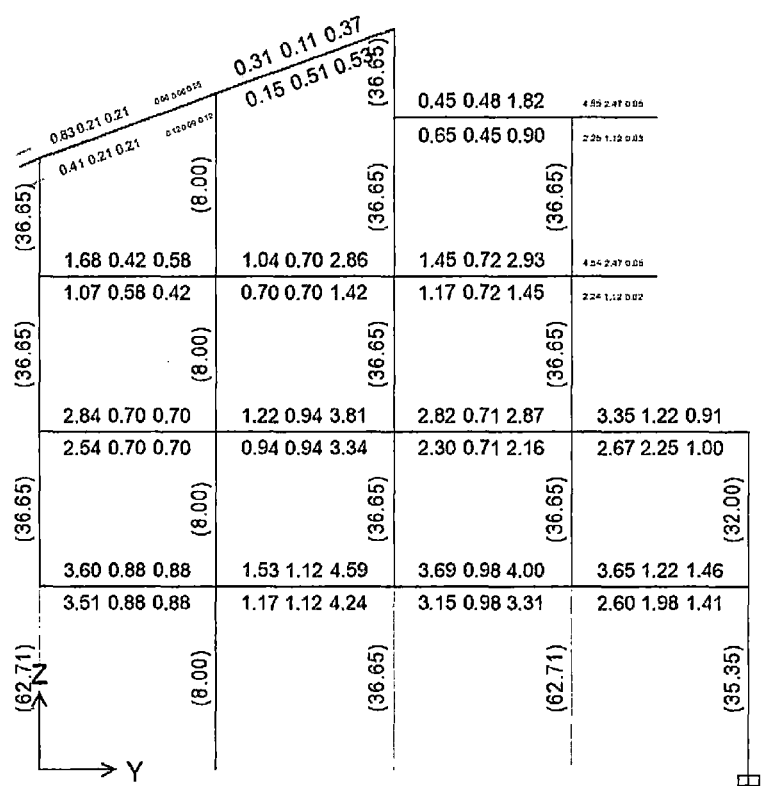


Figura 11.47. Calculo del acero para el eje 7-7

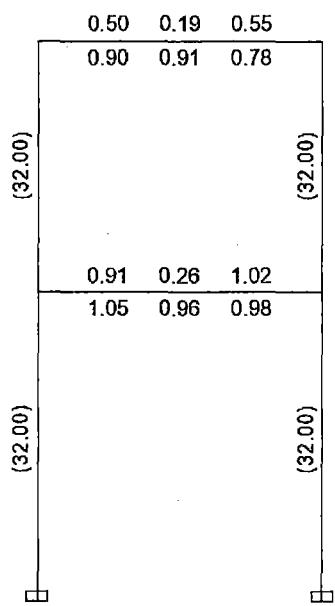


Figura 11.48. Calculo del acero para el eje 8-8

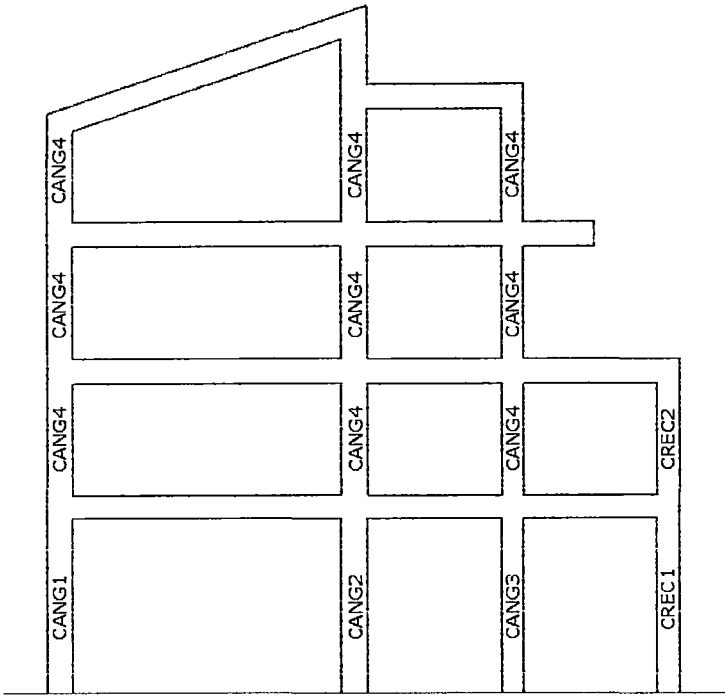


Figura 11.49. Pórtico representativo para ejes 1-1 y 7-7

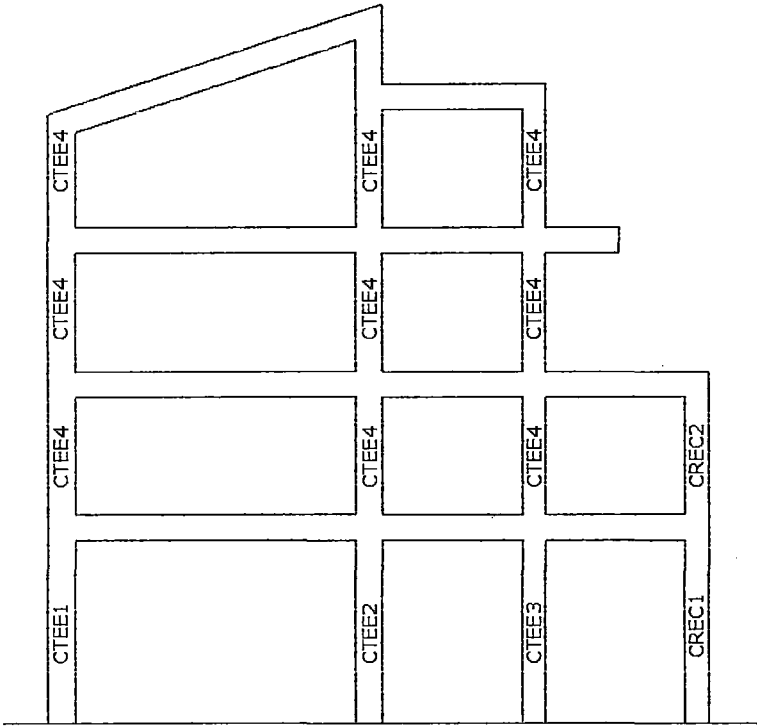


Figura 11.50. Pórtico representativo para ejes 2-2,3-3,4-4,5-5,6-6

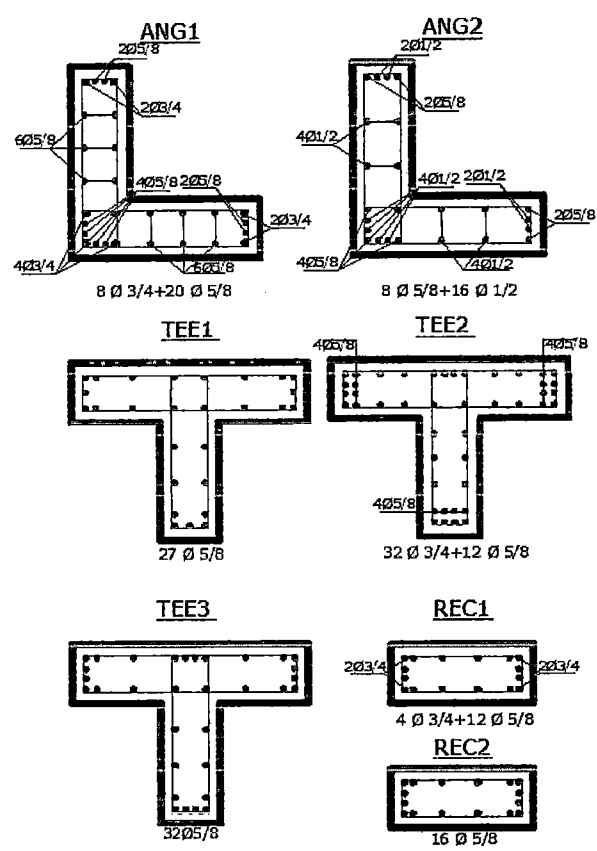


Figura 11.51. Secciones con aceros de columnas diseñados

EJE/TIPO COL	CANG1	CANG2	CANG3	CANG4	CTEE1	CTEE2	CTEE3	CTEE4	COL1	COL2
EJE 1-1	ANG1	ANG2	ANG1	ANG2					REC2	REC2
EJE 2-2					TEE1	TEE1	TEE1	TEE1	REC1	REC2
EJE 3-3					TEE1	TEE1	TEE1	TEE1	REC1	REC2
EJE 4-4					TEE2	TEE3	TEE2	TEE3	REC1	REC2
EJE 5-5					TEE2	TEE3	TEE2	TEE3	REC1	REC2
EJE 6-6					TEE1	TEE1	TEE1	TEE1	REC1	REC2
EJE 7-7	ANG1	ANG2	ANG1	ANG2					REC1	REC2
EJE 8-8									REC2	REC2

Figura 11.52. Secciones para cada columna por ejes

Capítulo 12

Diseño del Aislamiento Basal de la Estructura

12.1. Datos previos al diseño

1. *Tipos de disposición de los aisladores.*

La cantidad total de aisladores a utilizar en el modelamiento es de 37 unidades, los cuales son modelados en cuatro casos de disposición, que a continuación se muestran [1]:

- Caso HDR: Diseño del aislamiento basal con aisladores HDR. En total 37 unidades
- Caso LRB: Diseño del aislamiento basal con aisladores LRB. En total 37 unidades
- Caso HDR1+HDR2: Diseño del aislamiento basal con dos tipo de aisladores HDR: HDR1 en combinación con HDR2.
 - HDR1: 12 unidades
 - HDR2: 25 unidades
- Caso HDR+LRB: Diseño del aislamiento basal con aisladores HDR en combinación con LRB.
 - HDR: 25 unidades

- LRB: 12 unidades

2. *Carga máxima y mínima.*

Para el diseño del aislamiento basal de la estructura es necesario contar con los datos de la máxima y mínima carga bajo la cual actuara el aislador en toda su vida útil.

Como se muestra en la figura 10.10 la estructura aislada cuenta con una losa adicional en la base. La presencia de esta losa adiciona la carga en cada apoyo.

Es necesario entonces modelar la estructura con dicha losa adicional y extraer las reacciones máxima y mínima en la base. Ver figura 12.1

Se usara la envolvente: ENVOLVENTE RNE-02 y se tiene como resultado que la mayor reacción se da en el eje 5-5, con un valor de 264839.91 kg-f y la menor se da en el eje 1-1, con un valor de 38133.45 kg-f Como se muestra en las figuras 12.2 y 12.3 respectivamente.

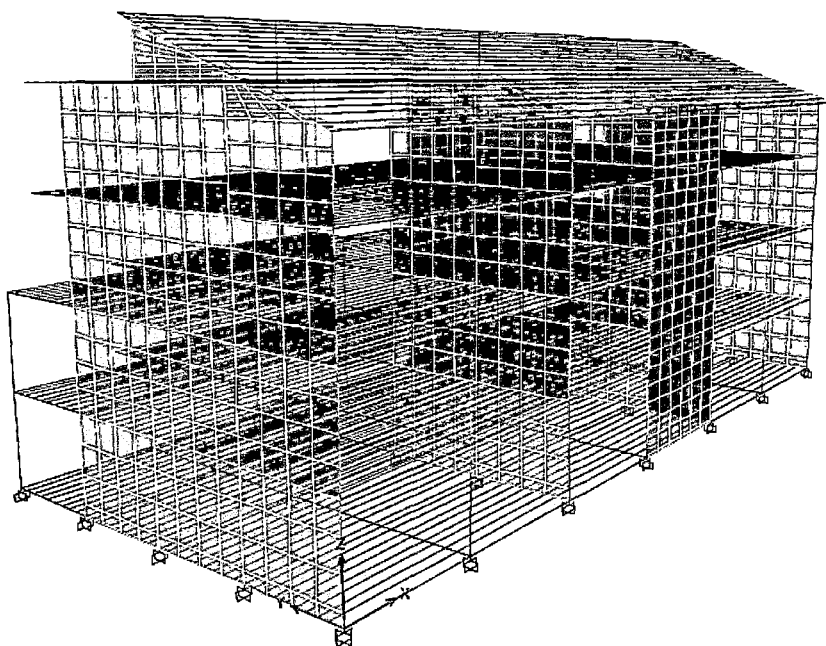


Figura 12.1. Modelamiento de estructura con losa adicional en la base

3. *Peso total de la edificación.*

Otro dato también importante es el peso total de la edificación. Esta es calculada creando un caso de carga en la cual se suman los siguientes casos:

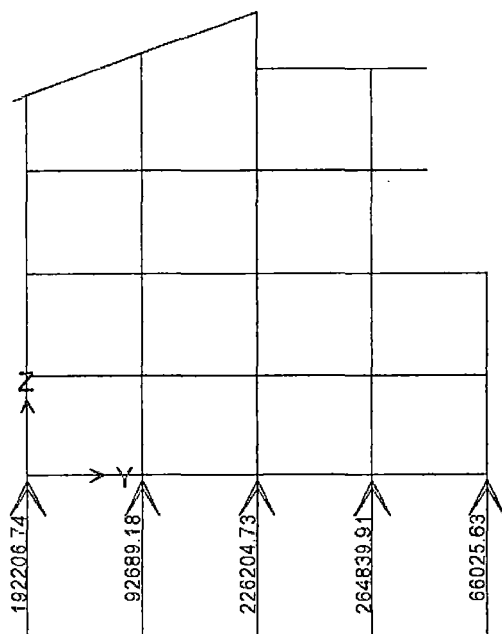


Figura 12.2. Eje 5-5 con la máxima reacción en la base

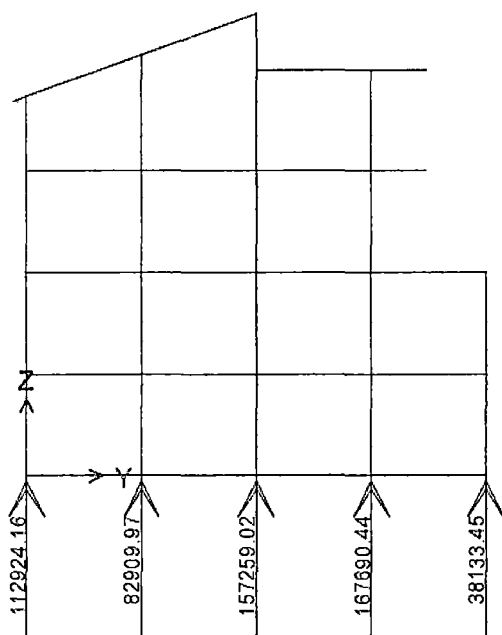


Figura 12.3. Eje 1-1 con la mínima reacción en la base

- Carga muerta (CM)=100 %
- Carga peso propio(DEAD)=100 %
- Carga viva(VIVA)=50 %
- Carga viva techo(VIVASUP)=25 %

Teniéndose un peso total de: 2'884,243.72 kg-f

4. *Periodo objetivo.*

Se proyecta el diseño del sistema de aislamiento con un periodo objetivo $T_D = 2,0 \text{ Seg.}$

5. *Aceleración espectral de diseño y máxima.* Como se describió en el capítulo: Adaptación del ASCE/SEI 7-10 a los parámetros del RNE- E030, se establecen los siguientes datos:

- Factor de zona sísmica $Z_{SD1} = 0,3$
- Factor de uso $U = 1,0$
- Factor de amplificación sísmica $C = 0,75$
- Factor por tipo de suelo $S = 1,2$

$$S_{D1} = Z_{SD1} UCS = 0,3 * 1,0 * 0,75 * 1,2 = 0,27 \quad (12.1)$$

$$Z_{SM1} = Z_{SD1} * 1,5 = 0,3 * 1,5 = 0,45 \quad (12.2)$$

$$S_{M1} = Z_{SM1} UCS = 0,45 * 1,0 * 0,75 * 1,2 = 0,405 \quad (12.3)$$

6. *Datos técnicos del fabricante*

Se usaran para el modelamiento los aisladores de la marca DIS (Dynamic Isolation Systems) [2].

En las figuras 12.4, 12.5 y 12.6 se muestran las dimensiones y datos técnicos de estos aisladores.

Ademas se muestran enmarcados los datos de los aisladores de diámetros 65 y 70 cm los cuales serán usados a lo largo del diseño.

Otros datos técnicos adicionales son los siguientes:

- Desplazamiento máximo admisible $\gamma_{ema} = 250 \%$
- Modulo de corte G de la goma en el rango: 3,8 a 7,0 $Kg - f/cm^2$

- Para edificaciones los porcentajes de amortiguamiento son: 10 a 20 %
- Para puentes los porcentajes de amortiguamiento son: 15 a 30 %

En el anexo B se muestra el catalogo de la empresa DIS.

TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diámetro Aislador, D _i (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo, D _L (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

Figura 12.4. Dimensiones de los aisladores producidos por el fabricante

12.2. Caso 1:Diseño del aislamiento basal con aisladores HDR

Se establecen los siguientes datos:

- Amortiguamiento efectivo del sistema $\beta = 10,0 \%$.
- Deformación de corte directa máxima $\gamma_{ed} = 200 \%$.
- Deformación de corte máxima admisible $\gamma_{ema} = 250 \%$.
- Sismo de diseño $S_{D1} = 0,27 * g \text{ cm/s}^2$.
- Sismo máximo considerado $S_{M1} = 0,405 * g \text{ cm/s}^2$.

Diámetro Aislador, D_i (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D_{max} (mm)	Capacidad Carga Axial P_{max} (kN)
	Rigidez Producida, K_d (kN/mm)	Resistencia Características Q_d (kN)	Rigidez a la compresión, K_v (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000

Figura 12.5. Datos técnicos de los aisladores producidos por el fabricante

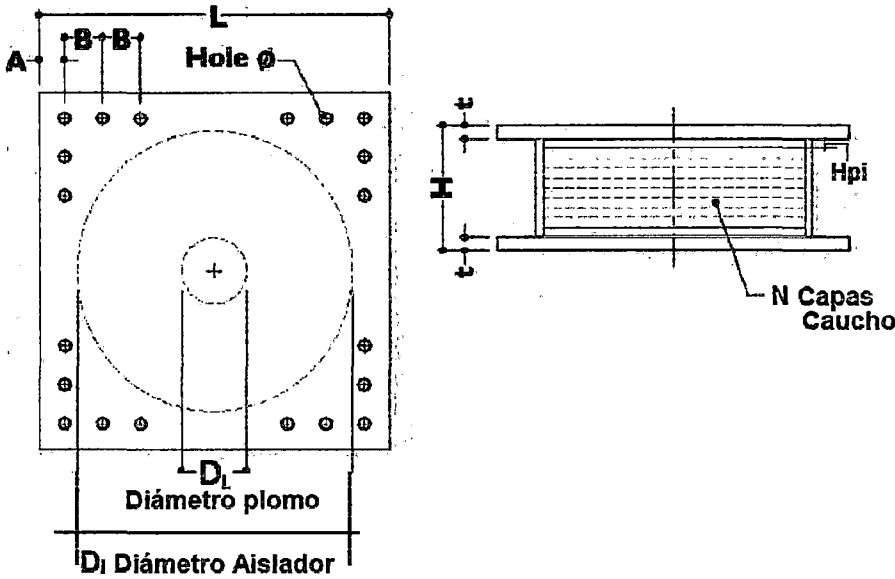


Figura 12.6. Dimensiones del aislador

- Tipo de conexión: *Fija con pernos.*
- Tensión admisible de compresión $\tau_{ac} = 80 \text{ kg/cm}^2$.
- Numero de aisladores sísmicos $N = 37 \text{ unidades}$.
- Peso total de la edificación $W = 2'884,243,72 \text{ kg} - f$.

- Carga máxima $P_{max} = 264,839,91 \text{ kg} - f$.
- Carga mínima $P_{min} = 38,133,45 \text{ kg} - f$.
- Periodo objetivo $T_D = 2,0 \text{ seg}$.
- Diámetro interno $D_i = 0,0 \text{ cm}$.

1. *Calculo del factor de reducción por amortiguamiento B_D .* Teniendo el amortiguamiento efectivo $\beta = 10\%$ se procede a interpolar los valor de B_D usando la tabla 4.13.

$$B_D = 1,20$$

2. *Calculo del desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} , desplazamiento total máximo D_{TM} .*

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4 \pi^2 B_D} = \frac{981 * 0,27 * 2,0}{4 * \pi^2 * 1,20} = 11,182 \text{ cm} \quad (12.4)$$

$$D_M = 1,5 * D_D = 16,773 \text{ cm} \quad (12.5)$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D = 12,30 \text{ cm} \quad (12.6)$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M = 18,45 \text{ cm} \quad (12.7)$$

3. *Calculo de la rigidez horizontal total K_{ht} , y de cada aislador K_{hi} .*

$$K_{ht} = \frac{4 \pi^2 W}{T_D^2 g} = \frac{4 * \pi^2 * 2884243,72}{2,0^2 * 981} = 29017,81 \text{ kg} - f/cm \quad (12.8)$$

$$K_{hi} = \frac{K_{ht}}{N} = \frac{29017,81}{37} = 784,265 \text{ kg} - f/cm \quad (12.9)$$

4. *Calculo del área del aislador A , diámetro externo D_e.*

$$A = \frac{P_{max}}{\tau_{ac}} = \frac{264839,91}{80} = 3310,50 \text{ cm}^2 \quad (12.10)$$

Con el diámetro interno igual a cero se calcula el diámetro externo:

$$D_e = 2\sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{D_i^2}{4}} = 2\sqrt{\frac{3310,50}{\pi} + \frac{0,0^2}{4}} = 64,923 \text{ cm} \quad (12.11)$$

Se promedia el diámetro al valor:

$$D_e = 65,00 \text{ cm}$$

Entonces se recalcula el área del aislador:

$$A = \pi * \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right) = \pi * \left(\frac{65^2}{4} - \frac{0,0^2}{4} \right) = 3318,32 \text{ cm}^2 \quad (12.12)$$

5. *Calculo de la altura total de la goma del aislador H_g.*

Para el calculo de la altura de goma del aislador se usara el *desplazamiento total máximo* D_{TM}, para considerar el sismo máximo posible.

$$H_g = \frac{D_{TM}}{\gamma_{cd}} = \frac{18,45}{2,0} = 9,225 \text{ cm} \quad (12.13)$$

6. *Se establece el espesor de la capa de goma t_g, numero de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g.*

Se propone el espesor de la capa de goma: t_g = 0,8 cm

Entonces el numero de capas de goma es: nc = $\frac{H_g}{t_g} = 11,531$ capas

se define nc = 12 capas

para la cual la altura total de la goma es: H_g = 12 * 0,8 = 9,60 cm

7. *Calculo del modulo de corte G del aislador.*

$$G = \frac{K_{hi} H_g}{A} = \frac{784,265 * 9,60}{3318,32} = 2,269 \text{ kg} - f/\text{cm}^2 \quad (12.14)$$

Verificando los datos del fabricante se puede observar que el rango del modulo de corte esta entre 3.80 a 7.0 Kg - f/cm²:

El valor 2.269 es menor a este rango, entonces se debe incrementar el número de capas de goma hasta llegar al valor mínimo del módulo de corte que se produce. Se vuelve al paso 6.

8. *Se establece el espesor de la capa de goma t_g , número de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g .*

El espesor de la capa de goma: $t_g = 0,8 \text{ cm}$

Se define el número de capas de goma $nc = 20 \text{ capas}$

para la cual la altura total de la goma es: $H_g = 20 * 0,8 = 16,0 \text{ cm}$

9. *Calculo del módulo de corte G del aislador.*

$$G = \frac{K_{hi} H_g}{A} = \frac{784,265 * 16,0}{3318,32} = 3,782 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.15)$$

Se promedia $G = 3,80 \text{ kg} - f/cm^2$

10. *Calculo del factor de forma S .*

En nuestro caso se tiene un diámetro interno nulo entonces el cálculo del factor de forma es:

$$S = \frac{D_e - D_i}{4t_g} = \frac{65,0 - 0,0}{4 * 0,8} = 20,313 \quad (12.16)$$

11. *Se establece el espesor de la capa de acero t_s y se comprueba su resistencia a la tensión admisible.*

Se define el espesor de la capa de acero $t_s = 0,3 \text{ cm}$

$$\tau_s = 1,5 \frac{t_g}{t_s} \tau_{ac} = 1,5 * \frac{0,5}{0,3} * 80 = 320,00 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.17)$$

$$\tau_{adm} = 0,75 \sigma_y = 0,75 * 2400 = 1800,00 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.18)$$

Luego se cumple que:

$$\tau_s \leq \tau_{adm}$$

12. *Calculo de la altura interna H_i y la altura total del aislador H_T .*

se procede a calcular la altura interna H_i del aislador.

$$H_i = H_g + (nc - 1)t_s = 16,0 + (20 - 1) * 0,3 = 21,70 \text{ cm} \quad (12.19)$$

Según los datos del fabricante en las dimensiones del aislador de 65 cm de diámetro la altura de las placas de acero exterior es $H_{pe} = 3,2 \text{ cm}$ y la altura de las placas interiores son de $H_{pi} = 2,50 \text{ cm}$.

Entonces se calcula la altura total de el aislador:

$$H_T = H_i + 2H_{pe} + 2H_{pi} = 21,70 + 2 * 3,2 + 2 * 2,5 = 33,10 \text{ cm} \quad (12.20)$$

13. *Calculo de la rigidez y frecuencia vertical K_v y f_v .*

La rigidez vertical se obtiene de la ecuación:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} \text{ en } kg - f/cm \quad (12.21)$$

donde:

E_{ci} : Es el modulo de compresión de la unión acero goma y es calculado por la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{E_{ci}} = \left(\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K_g} \right) \quad (12.22)$$

Despejando se tiene:

$$E_{ci} = \frac{6GS^2K_g}{K_g + 8GS^2} = \frac{6 * 3,80 * 20,313^2 * 20000}{20000 + 8 * 3,80 * 20,313^2} = 5781,42 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.23)$$

Entonces se obtiene la rigidez vertical:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} = \frac{5781,42 * 3318,32}{16,0} = 1199035,544 \text{ kg} - f/cm \quad (12.24)$$

Entonces se cumple:

$$K_v > 1000 * K_{hi} = 1000 * 784,265 = 784265,0$$

$$1199035,544 > 784265,0$$

La frecuencia horizontal f_h : es equivalente a:

$$f_h = 1/T_D = 1/2,0 = 0,5 \text{ Hz}$$

La frecuencia vertical f_v : es calculada con:

$$f_v = \sqrt{6} S f_h = \sqrt{6} * 20,313 * 0,5 = 24,882 \text{ Hz}$$

Entonces se cumple:

$$f_v > 10 \text{ Hz}$$

14. *Se verifica la rigidez horizontal K_{hi} y el periodo objetivo T_D .*

Se recalcula la rigidez horizontal:

$$K_{hi} = \frac{GA}{H_g} = \frac{3,80 * 3318,32}{16,0} = 788,10 \text{ kgf/cm} \quad (12.25)$$

Con ella se obtiene el periodo objetivo:

$$T_D = \sqrt{\frac{4\pi^2 W}{N K_{hi} g}} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * 2884243,72}{32 * 788,10 * 981}} = 1,995 \text{ seg} \quad (12.26)$$

Como se puede observar el valor del periodo objetivo es prácticamente igual al valor supuesto inicialmente.

15. *Verificación por deformación angular máxima.*

La deformación angular máxima se calcula con la suma de la deformación angular por corte γ_z y compresión γ_c , Tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c \quad (12.27)$$

Donde:

$$\gamma_z = \frac{D_{TM}}{H_g} = \frac{18,45}{16} = 1,153 \text{ grados} \quad (12.28)$$

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \text{ en grados} \quad (12.29)$$

ε_c : Es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E_O(1 + 2KS^2)} = \frac{80,00}{35(1 + 2 * 0,7 * 20,313^2)} = 0,00395 \quad (12.30)$$

entonces:

$$\gamma_c = 6 * S * \varepsilon_c = 6 * 20,313 * 0,00395 = 0,481 \text{ grados} \quad (12.31)$$

Entonces la deformación angular máxima es:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c = 1,153 + 0,481 = 1,635 \text{ grados} \quad (12.32)$$

La deformación angular máxima admisible esta dado por la siguiente ecuación :

$$\gamma_{maxaceptable} = \frac{0,85 * 5,5}{F.S.} = \frac{4,675}{1,5} = 3,116 \text{ rad} \quad (12.33)$$

Se cumple la condición:

$$\gamma_m \leq \gamma_{maxaceptable}$$

16. Verificación por pandeo.

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \text{ kg} - f \quad (12.34)$$

Donde:

$$P_s = \frac{G * A * H_i}{H_g} = \frac{3,80 * 3318,32 * 21,70}{16,0} = 17018,557 \text{ kg} - f \quad (12.35)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_{ci} * I}{3 * H_i^2} \quad (12.36)$$

El modulo de compresión de la unión accro goma $E_{ci} = 5781,42 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$

y el valor de I es igual a:

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{D_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right) = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{65,00}{2} \right)^4 - \left(\frac{0,00}{2} \right)^4 \right) = 876242,554 \text{ cm}^4 \quad (12.37)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 5781,42 * 876242,554}{3 * 21,70^2} = 35393199,584 \text{ kg} \cdot \text{f} \quad (12.38)$$

Entonces el valor de P_{crit}

$$P_{crit} = \frac{17018,557}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{35393199,584}{17018,557}} - 1 \right) = 769498,0 \text{ kg} \cdot \text{f} \quad (12.39)$$

Finalmente se debe cumplir la siguiente condición para verificar la estabilidad por pandeo:

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = \frac{769498,0}{264839,91} = 2,905 \geq F.S \quad (12.40)$$

Por lo general el factor $F.S = 2$, entonces se cumple:

$$2,905 \geq 2 \quad (12.41)$$

17. Verificación por volcamiento.

$$D_{max} = \frac{P_{min} D_e}{P_{min} + K_{hi} H_i} = \frac{38133,45 * 65,0}{38133,45 + 788,10 * 21,70} = 44,942 \text{ cm} \quad (12.42)$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{D_{max}}{D_{TM}} = \frac{44,942}{18,45} = 2,435 \geq F.S \quad (12.43)$$

El factor de seguridad es $F.S = 1,0$ por el tipo de conexión fija con pernos, entonces se cumple:

$$2,435 \geq 1,0$$

12.3. Caso 2: Diseño del aislamiento basal con aisladores LRB

Se establecen los siguientes datos:

- Amortiguamiento efectivo del sistema $\beta = 20,0 \%$.
- Deformación de corte directa máxima $\gamma_{cd} = 200 \%$.
- Deformación de corte máxima admisible $\gamma_{cma} = 250 \%$.
- Sismo de diseño $S_{D1} = 0,27 * g \text{ cm/s}^2$.
- Sismo máximo considerado $S_{M1} = 0,405 * g \text{ cm/s}^2$.
- Tipo de conexión: *Fija con pernos*.
- Tensión admisible de compresión $\tau_{ac} = 80,00 \text{ kg/cm}^2$.
- Numero de aisladores sísmicos $N = 37$.
- Peso total de la edificación $W = 2'884,243,72 \text{ kg} - f$.
- Carga máxima $P_{max} = 264839,91 \text{ kg} - f$.
- Carga mínima $P_{min} = 38133,45 \text{ kg} - f$.
- Periodo objetivo $T_D = 2,0 \text{ seg}$.
- Esfuerzo de fluencia del plomo $\sigma_{yp} = 100 \text{ kg} - f/\text{cm}^2$.
- Proporción entre la rigidez inicial y la rigidez de postfluencia $f_n = \frac{K_i}{K_{hp}} = 10$.

1. Cálculo del factor de reducción por amortiguamiento B_D .

Teniendo el amortiguamiento efectivo $\beta = 20 \%$ se procede a interpolar los valores de B_D Usando el cuadro 4.13.

$$B_D = 1,50$$

2. *Calculo del desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} , desplazamiento total máximo D_{TM} .*

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4 \pi^2 B_D} = \frac{981 * 0,27 * 2,0}{4 * \pi^2 * 1,50} = 8,945 \text{ cm} \quad (12.44)$$

$$D_M = 1,5 * D_D = 13,418 \text{ cm}$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D = 9,84 \text{ cm}$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M = 14,76 \text{ cm}$$

3. *Calculo de la rigidez horizontal total K_{ht} , y de cada aislador K_{hi} .*

$$K_{ht} = \frac{4 \pi^2 W}{T_D^2 g} = \frac{4 * \pi^2 * 2884243,72}{2,0^2 * 981} = 29017,8 \text{ kg} - f/cm \quad (12.45)$$

$$K_{hi} = \frac{K_{ht}}{N} = \frac{29017,8}{37} = 784,265 \text{ kg} - f/cm \quad (12.46)$$

4. *Calculo del diámetro posible del núcleo de plomo D_L , la fuerza característica de cada aislador Q_i y la fuerza característica total Q_t .*

Usando la ecuación 7.60 donde se obtiene el diámetro del plomo en función de los siguientes datos:

- $K_{ef} = K_{hi} = 784,265 \text{ kg} - f/cm$
- $D_{TM} = 14,76 \text{ cm}$
- $\beta = 20,0 \%$
- $\sigma_{yp} = 100 \text{ kg} - f/cm^2$
- $f_n = 10$

$$A * Q_i^2 + B * Q_i + C = 0 \quad (12.47)$$

Donde:

$$A = \frac{1}{f_n - 1} + 1 = \frac{1}{10 - 1} + 1 = 1,111 \quad (12.48)$$

$$A1 = 2 * \Pi * \beta * D_{TM}^2 = 2 * 3,1416 * 0,20 * 14,76^2 = 273,777 \quad (12.49)$$

$$B = \frac{A1 + 4 * D_{TM}^2}{4 * D_{TM}} * K_{ef} = -\frac{273,77 + 4 * 14,76^2}{4 * 14,76} * 784,265 = -15212,651 \quad (12.50)$$

$$C = \frac{A1 * K_{ef}^2}{4} = \frac{273,777 * 784,265^2}{4} = 42098270,936 \quad (12.51)$$

Entonces se tiene la ecuación cuadrática final:

$$1,111 * Q_i^2 - 15212,651 * Q_i + 42098270,936 = 0 \quad (12.52)$$

Donde las raíces de dicha ecuación son las siguientes:

$$Q_{i1} = 9841,536 \quad (12.53)$$

$$Q_{i2} = 3849,850 \quad (12.54)$$

Entonces los diámetros de plomo resultantes se despejan de la ecuación:

$$D_{Li} = \sqrt{\frac{4 * Q_i}{\Pi * \sigma_{yp}}} \quad (12.55)$$

Se tienen:

$$D_{L1} = \sqrt{\frac{4 * 9841,53}{\Pi * 100}} = 11,194 \quad (12.56)$$

$$D_{L2} = \sqrt{\frac{4 * 3849,85}{\Pi * 100}} = 7,001 \quad (12.57)$$

Se usara los valores de $Q_i = 3849,850 \text{ Kg} - f$ y $D_L = 7,0 \text{ cm}$

Entonces la fuerza característica total del sistema de aislamiento es:

$$Q_t = Q_i * N = 3849,850 * 37 = 142444,471 \text{ Kg} - f \quad (12.58)$$

5. *Calculo del área del aislador A ,diámetro externo D_e .*

$$A = \frac{P_{max}}{\tau_{ac}} = \frac{264839,91}{80} = 3310,50 \text{ cm}^2 \quad (12.59)$$

teniendo $D_L = 7,00 \text{ cm}$

se calcula el diámetro externo:

$$D_e = 2\sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{D_L^2}{4}} = 2\sqrt{\frac{3310,50}{\pi} + \frac{7,00^2}{4}} = 65,30 \text{ cm} \quad (12.60)$$

Se usara según la tabla de dimensiones del fabricante el diámetro inmediato superior a este valor:

$$D_e = 70,00 \text{ cm}$$

Entonces se re calcula el área del aislador:

$$A = \pi * \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_L^2}{4} \right) = \pi * \left(\frac{70,00^2}{4} - \frac{7,00^2}{4} \right) = 3809,98 \text{ cm}^2 \quad (12.61)$$

6. *Calculo de la altura total de la goma del aislador H_g , el espesor de la capa de goma t_g , el numero de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g .*

$$H_g = \frac{D_{TM}}{\delta_{cd}} = \frac{14,76}{2,0} = 7,38 \text{ cm} \quad (12.62)$$

Se propone el espesor de la capa de goma: $t_g = 0,8 \text{ cm}$

Entonces el numero de capas de goma es: $nc = \frac{H_g}{t_g} = \frac{7,38}{0,8} = 9,225 \text{ capas}$

se define $nc = 10 \text{ capas}$

para la cual la altura total de la goma es: $H_g = 10 * 0,8 = 8,0 \text{ cm}$

7. *Calculo del modulo de corte G del aislador.*

$$G = \frac{(K_{hi} - K_{plomo}) * H_g}{A} = \frac{(K_{hi} - \frac{Q_i}{D_{TM}}) * H_g}{A} = \frac{(784,265 - \frac{3849,85}{14,76}) * 8,0}{3809,98} = 0,106 \text{ kg-f/cm}^2 \quad (12.63)$$

El valor de $G = 0,106 \text{ Kg-f/cm}^2$ es menor a los establecidos en el rango del fabricante que esta entre $3,80$ y $7,00 \text{ Kg-f/cm}^2$.

Se elevara el numero de capas de goma para llegar al modulo de corte mínimo establecido por el fabricante.

Usando un numero de capas igual $nc = 35 \text{ capas}$ y volviendo al paso 6 se encuentra un valor de modulo de corte $G = 3,847 \text{ Kg-f/cm}^2$.

Sin embargo según las tablas de diseño del fabricante para un diámetro de aislador de 70 cm el rango del numero de capas de caucho están entre 8 y 30 capas.

Entonces es necesario usar un modulo de corte menor a los establecidos en el catalogo del fabricante.

También es necesario resaltar que los aisladores tipo LRB por lo general se usan en combinación con los aisladores tipo HDR y su función primordial es adicionar mayor amortiguamiento y rigidez al sistema.

Al usar aisladores LRB para una rigidez unitaria de $K_{hi} = 784,265 \text{ Kg-f/cm}^2$ y con la condición de tener un amortiguamiento de 20% el modulo de corte G es muy bajo. Entonces se concluye que el aislador tipo LRB proveídas por el fabricante es usado para rigideces mas elevadas.

Para cumplir con nuestro diseño se vuelve al paso 6 usando un numero de capas igual a $nc = 18 \text{ capas}$, la cual requiere de un modulo de corte igual a $G = 2,00 \text{ kg-f/cm}^2$.

8. *Calculo de la altura total de la goma del aislador H_g , el espesor de la capa de goma t_g , el numero de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g .*

Se tiene los valores calculados $H_g = 7,38$, $t_g = 0,8 \text{ cm}$, $nc = 9,225 \text{ capas}$

se propone $nc = 18 \text{ capas}$

para la cual la altura total de la goma es: $H_g = 18 * 0,8 = 14,40 \text{ cm}$

9. *Calculo del modulo de corte G del aislador.*

$$G = \frac{(K_{hi} - \frac{Q_i}{D_{TM}}) * H_g}{A} = \frac{(784,265 - \frac{3849,85}{14,76}) * 14,40}{3809,98} = 1,979 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.64)$$

Se promedia $G = 2,00 \text{ kg} - f/cm^2$.

10. *Calculo del factor de forma S.*

En nuestro caso se tiene un diámetro interno con un núcleo de plomo entonces el calculo del factor de forma es:

$$S = \frac{D_e^2 - D_L^2}{4 * D_e * t_g} = \frac{70,00^2 - 7,00^2}{4 * 70,00 * 0,8} = 21,656 \quad (12.65)$$

11. *Se establece el espesor de la capa de acero t_s y se comprueba su resistencia a la tensión admisible.*

Se define el espesor de la capa de acero $t_s = 0,3 \text{ cm}$

$$\tau_s = 1,5 \frac{t_g}{t_s} \tau_{ac} = 1,5 * \frac{0,8}{0,3} * 80 = 320,00 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.66)$$

$$\tau_{adm} = 0,75 \sigma_y = 0,75 * 2400 = 1800,00 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.67)$$

Luego se cumple que:

$$\tau_s \leq \tau_{adm}$$

12. *Calculo de la altura interna H_i y la altura total del aislador H_T .*

se procede a calcular la altura interna H_i del aislador.

$$H_i = H_g + (nc - 1)t_s = 14,40 + (18 - 1) * 0,3 = 19,50 \text{ cm} \quad (12.68)$$

Según los datos del fabricante en las dimensiones del aislador de 65 cm de diámetro la altura de las placas de acero exterior es $H_{pe} = 3,2 \text{ cm}$ y la altura de las placas interiores son de $H_{pi} = 2,50 \text{ cm}$.

Entonces se calcula la altura total de el aislador:

$$H_T = H_i + 2H_{pe} + 2H_{pi} = 19,50 + 2 * 3,2 + 2 * 2,5 = 30,90 \text{ cm} \quad (12.69)$$

13. *calculo de la rigidez de postfluencia ,la rigidez inicial y la rigidez efectiva.*

La rigidez postfluencia del aislador es:

$$K_{hp} = \frac{G * A}{H_g} = \frac{2,00 * 3809,98}{14,40} = 529,163 \text{ kg} - f/cm \quad (12.70)$$

La rigidez inicial sera considerada como 10 veces la rigidez de postfluencia.

$$K_i = (6,5a10)K_{hp} = 10 * 529,163 = 5291,630 \text{ kg} - f/cm \quad (12.71)$$

La rigidez efectiva se calcula con la ecuación:

$$K_{ef} = K_{hp} + \frac{Q_i}{D_{TM}} = 529,163 + \frac{3849,85}{14,76} = 789,989 \text{ kg} - f/cm \quad (12.72)$$

El valor de la rigidez efectiva esta muy próximo al valor de $K_{hi} = 784,265 \text{ kg} - f/cm$ inicialmente calculado.

14. *Se calcula el desplazamiento de fluencia, la fuerza de fluencia y la energía disipada.*

Se calcula el desplazamiento de fluencia considerando con la siguiente ecuación:

$$D_y = \frac{Q_i}{K_i - K_{hp}} = \frac{3849,85}{5291,630 - 529,163} = 0,808 \text{ cm} \quad (12.73)$$

La fuerza de fluencia del aislador es:

$$F_y = Q_i + K_{hp}D_y = 3849,85 + 529,163 * 0,808 = 4276,07 \text{ kg} - f \quad (12.74)$$

La energía disipada del aislador es:

$$W_D = 4 * Q_i * (D_{TM} - D_y) = 4 * 3849,85 * (14,76 - 0,808) = 214592,00 \text{ kg} - f * cm \quad (12.75)$$

15. *Calculo de amortiguamiento efectivo final β y su correspondiente coeficiente de amortiguamiento B_D .*

El amortiguamiento efectivo final β es:

$$\beta = \frac{W_D}{2 * \Pi * K_{ef} * D_D^2} = \frac{214592,00}{2 * 3,1416 * 790,108 * 14,76^2} = 0,198 \quad (12.76)$$

Teniendo el amortiguamiento efectivo $\beta = 19,863 \%$ se procede a interpolar los valores de B_D Usando el cuadro 4.13.

$$B_D = 1,496 \quad (12.77)$$

16. *Se calcula el periodo real del sistema de aislamiento T_D .*

$$T_D = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W}{N * K_{ef} * g}} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * 2884243,72}{37 * 790,108 * 981}} = 1,993 = 2,00 \text{ seg} \quad (12.78)$$

17. *Calculo del desplazamiento total máximo final D_{TM} .*

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4 \pi^2 B_D} = \frac{981 * 0,27 * 2,00}{4 * \pi^2 * 1,496} = 8,938 \text{ cm} \quad (12.79)$$

$$D_M = 1,5 * D_D = 1,5 * 8,938 = 13,407 \text{ cm} \quad (12.80)$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D = 1,1 * 8,938 = 9,832 \text{ cm} \quad (12.81)$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M = 1,1 * 13,407 = 14,748 \text{ cm} \quad (12.82)$$

Este valor es prácticamente igual al valor $D_{TM} = 14,76 \text{ cm}$ calculado inicialmente

18. *Deformación a cortante de diseño final δ_{cd} .*

$$\delta_{cd} = \frac{D_{TM}}{H_g} = \frac{14,748}{14,40} = 1,024 \quad (12.83)$$

La deformación de corte directa actuante es del 102,4 % menor al valor asumido inicialmente 200 % y menor a valor máximo 250 %.

Esto es debido al aumento de numero de capas de caucho.

19. *Calculo de la rigidez efectiva final K_{ef} .*

$$K_{ef} = K_{hp} + \frac{Q_i}{D_{TM}} = 529,163 + \frac{3849,85}{14,748} = 790,108 \text{ kg} - f/cm \quad (12.84)$$

20. *Calculo de la energía disipada final W_D .*

$$W_D = 4 * Q_i * (D_{TM} - D_y) = 4 * 3849,85 * (14,748 - 0,808) = 214592,36 \text{ kg} - f * cm \quad (12.85)$$

21. *Calculo de la rigidez y frecuencia vertical K_v y f_v .*

La rigidez vertical se obtiene de la ecuación

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} + \frac{E_{pl}A_p}{H_{pl}} \text{ en } kgf/cm \quad (12.86)$$

$$\frac{1}{E_{ci}} = \left(\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K_g} \right) \quad (12.87)$$

Despejando se tiene:

$$E_{ci} = \frac{6GS^2K_g}{K_g + 8GS^2} \quad (12.88)$$

El valor de S para la formula de E_{ci} es el factor de forma del aislador sin núcleo de plomo.

$$S = \frac{D_e - D_i}{4t_g} = \frac{70,0 - 7,0}{4 * 0,8} = 19,687 \quad (12.89)$$

$$E_{ci} = \frac{6GS^2K_g}{K_g + 8GS^2} = \frac{6 * 2,00 * 19,687^2 * 20000}{20000 + 8 * 2,00 * 19,687^2} = 3550,301 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.90)$$

Entonces se obtiene la rigidez vertical:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} + \frac{E_{pl}A_p}{H_i} = \frac{3550,301 * 3809,98}{14,40} + \frac{140000 * 38,485}{19,50} = 1215644,140 \text{ kgf/cm} \quad (12.91)$$

Entonces se cumple:

$$K_v > 1000 * K_{hi} = 1000 * 790,108 = 790108,0$$

$$1215644,140 > 790108,0$$

La frecuencia horizontal f_h : es equivalente a:

$$f_h = 1/T_D = 1/2,00 = 0,50 \text{ Hz}$$

La frecuencia vertical f_v : es calculada con:

$$f_v = \sqrt{6} S f_h = \sqrt{6} * 21,656 * 0,5 = 26,523 \text{ Hz}$$

Entonces se cumple:

$$f_v > 10 \text{ Hz}$$

22. Verificación por deformación angular máxima.

La deformación angular máxima se calcula con la siguientes ecuación:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c \quad (12.92)$$

Donde:

$$\gamma_z = \frac{D_{TM}}{H_g} = \frac{14,76}{14,40} = 1,025 \text{ rad} \quad (12.93)$$

$$\gamma_c = 6 S \varepsilon_c \text{ en rad} \quad (12.94)$$

ε_c : Es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E_O(1 + 2KS^2)} = \frac{80,00}{35(1 + 2 * 0,7 * 21,656^2)} = 0,00348 \text{ rad} \quad (12.95)$$

entonces:

$$\gamma_c = 6 S \varepsilon_c = 6 * 21,656 * 0,00348 = 0,452 \text{ rad} \quad (12.96)$$

Entonces la deformación angular máxima es:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c = 1,025 + 0,452 = 1,475 \text{ rad} \quad (12.97)$$

La deformación angular máxima aceptable esta dado por la siguiente ecuación :

$$\gamma_{maxacceptable} = \frac{4,675}{F.S.} = \frac{4,675}{1,5} = 3,116 \text{ rad} \quad (12.98)$$

Se cumple la condición:

$$\gamma_m \leq \gamma_{maxacceptable}$$

23. Verificación por pandeo.

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \text{ kg} - f \quad (12.99)$$

Donde:

$$P_s = \frac{G * A * H_i}{H_g} = \frac{2,0 * 3809,98 * 19,50}{14,40} = 10318,683 \text{ kg} - f \quad (12.100)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_{ci} * I}{3 * H_i^2} \quad (12.101)$$

El modulo de compresión de la unión acero goma $E_{ci} = 3550,301 \text{ kg} - f/cm^2$ y el valor de I es igual a:

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{D_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right) = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{70,00}{2} \right)^4 - \left(\frac{7,00}{2} \right)^4 \right) = 1178473,015 \text{ cm}^4 \quad (12.102)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 3550,301 * 1178473,015}{3 * 19,50^2} = 36198963,471 \text{ kg} - f \quad (12.103)$$

Entonces el valor de P_{crit}

$$P_{crit} = \frac{10318,683}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{36198963,471}{10318,683}} - 1 \right) = 606030,0 \text{ kg} - f \quad (12.104)$$

Finalmente se debe cumplir la siguiente condición para verificar la estabilidad por pandeo:

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = \frac{606030,0}{264839,91} = 2,288 \geq F.S \quad (12.105)$$

Por lo general el factor $F.S = 2$, entonces se cumple:

$$2,288 \geq 2 \quad (12.106)$$

24. Verificación por volcamiento.

$$D_{max} = \frac{P_{min} D_e}{P_{min} + K_{ef} H_i} = \frac{38133,45 * 70,00}{38133,45 + 784,265 * 19,50} = 49,86 \text{ cm} \quad (12.107)$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{D_{max}}{D_{TM}} = \frac{49,86}{14,76} = 3,380 \geq F.S \quad (12.108)$$

El factor de seguridad $F.S = 1,0$ por el tipo de conexión fija con pernos, entonces se cumple:

$$3,380 \geq 1,0$$

12.4. Caso 3:Diseño de aislamiento basal con dos tipos de aisladores HDR

Se establecen los siguientes datos:

- Amortiguamiento efectivo de aisladores tipo HDR1 $\beta_{HDR1} = 20,0 \%$.
- Amortiguamiento efectivo de aisladores tipo HDR2 $\beta_{HDR2} = 10,0 \%$.
- Numero de aisladores sísmicos $N = 37$, $n_{HDR1} = 12$ y $n_{HDR2} = 25$.

- Porcentaje de rigidez total efectiva de aisladores tipo HDR1 $\%KT_{HDR1} = 12/37 = 32,43 \%$.
- Porcentaje de rigidez total efectiva de aisladores tipo HDR2 $\%KT_{HDR2} = 25/37 = 67,56 \%$.
- Deformación de corte directa máxima $\gamma_{cd} = 200 \%$.
- Deformación de corte máxima admisible $\gamma_{cma} = 250 \%$.
- Sismo de diseño $S_{D1} = 0,27 * g \text{ cm/s}^2$.
- Sismo máximo considerado $S_{M1} = 0,405 * g \text{ cm/s}^2$.
- Tipo de conexión: *Fija con pernos*.
- Tensión admisible de compresión $\tau_{ac} = 80 \text{ kg/cm}^2$.
- Peso total de la edificación $W = 2'884,243,72 \text{ kg} - f$.
- Carga máxima $P_{max} = 264839,91 \text{ kg} - f$.
- Carga mínima $P_{min} = 38133,45 \text{ kg} - f$.
- Periodo objetivo $T_D = 2,0 \text{ seg}$.
- Diámetro interno $D_i = 0,0 \text{ cm}$.

1. **Calculo de la rigidez efectiva de cada tipo de aislador y la rigidez compuesta.**

Los datos: $\%KT_{HDR1} = 12/37 = 32,43 \%$ y $\%KT_{HDR2} = 25/37 = 67,56 \%$ son proporcionales a la cantidad de aisladores por cada tipo, esto implica que las rigideces de los dos tipos de aislador sean iguales.

La rigidez compuesta se obtiene por la siguiente ecuación:

$$K_{ht} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} = \frac{4 * \pi^2 * 2884243,72}{2,0^2 * 981} = 29017,81 \text{ kg} - f/cm \quad (12.109)$$

Si se distribuye según los porcentajes de rigidez se tiene:

$$KT_{HDR1} = \%KT_{HDR1} * K_{ht} = 0,324 * 29017,81 = 9411,17 \text{ kg} - f/cm \quad (12.110)$$

$$KT_{HDR2} = \%KT_{HDR2} * K_{ht} = 0,675 * 29017,81 = 19606,6 \text{ kg-f/cm} \quad (12.111)$$

Para cada aislador se tiene las siguientes rigideces:

$$Ki_{HDR1} = KT_{HDR1}/n_{HDR1} = 784,265 \text{ kg-f/cm} \quad (12.112)$$

$$Ki_{HDR2} = KT_{HDR2}/n_{HDR2} = 784,265 \text{ kg-f/cm} \quad (12.113)$$

En este caso las rigideces efectivas de ambos aisladores son iguales. Sin embargo no es obligatorio que esto ocurra en todos los casos.

Para el programa Aisland que se vera mas adelante esta opción se encuentra en el botón *Automatico*.

2. *Valor del porcentaje de amortiguamiento efectivo del sistema aislado β_f .*

El porcentaje de amortiguamiento es el resultado de la unión de los efectos de los amortiguamientos y rigideces de cada tipo de aislador.

$$\beta_f = \frac{\beta_{HDR1} * n_{HDR1} * Ki_{HDR1} + \beta_{HDR2} * n_{HDR2} * Ki_{HDR2}}{K_{ht}} \quad (12.114)$$

$$\beta_f = \frac{20,0 * 12 * 784,265 + 10,0 * 25 * 784,265}{29017,81} = 13,243 \% \quad (12.115)$$

3. *Calculo del factor de reducción por amortiguamiento B_D del sistema aislado.*

Teniendo el amortiguamiento efectivo $\beta_f = 13,243 \%$ se procede a interpolar los valores de B_D Usando el cuadro 4.13.

$$B_D = 1,297$$

4. *Calculo del desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} , desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema aislado.*

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4 \pi^2 B_D} = \frac{981 * 0,27 * 2,0}{4 * \pi^2 * 1,297} = 10,3435 \text{ cm} \quad (12.116)$$

$$D_M = 1,5 * D_D = 15,515 \text{ cm} \quad (12.117)$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D = 11,378 \text{ cm} \quad (12.118)$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M = 17,066 \text{ cm} \quad (12.119)$$

5. *Calculo del área del aislador A , diámetro externo D_e .*

$$A = \frac{P_{max}}{\tau_{uc}} = \frac{264839,91}{80} = 3310,50 \text{ cm}^2 \quad (12.120)$$

Con el diámetro interno igual a cero se calcula el diámetro externo:

$$D_e = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{D_i^2}{4}} = 2 \sqrt{\frac{3310,50}{\pi} + \frac{0,0^2}{4}} = 64,923 \text{ cm} \quad (12.121)$$

Se promedia el diámetro al valor:

$$D_e = 65,00 \text{ cm}$$

Entonces se recalcula el área del aislador:

$$A = \pi * \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right) = \pi * \left(\frac{65^2}{4} - \frac{0,0^2}{4} \right) = 3318,32 \text{ cm}^2 \quad (12.122)$$

6. *Calculo de la altura total de la goma del aislador H_g .*

Para el calculo de la altura de goma del aislador se usara el *desplazamiento total máximo* D_{TM} , para considerar el sismo máximo posible.

$$H_g = \frac{D_{TM}}{\gamma_{cd}} = \frac{17,067}{2,0} = 8,533 \text{ cm} \quad (12.123)$$

7. Se establece el espesor de la capa de goma t_g , número de capas de goma nc y valor final de la altura total de la goma H_g .

Se propone el espesor de la capa de goma: $t_g = 0,8 \text{ cm}$

Entonces el número de capas de goma es: $nc = \frac{H_g}{t_g} = 10,667 \text{ capas}$

se define $nc = 20 \text{ capas}$ para el cumplimiento de el módulo de corte del fabricante.

para la cual la altura total de la goma es: $H_g = 20 * 0,8 = 16,0 \text{ cm}$

8. *Calculo del módulo de corte G del aislador.*

$$G = \frac{K_{hi} H_g}{A} = \frac{784,265 * 16,0}{3318,32} = 3,781 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.124)$$

Se promedia $G = 3,80 \text{ kg} - f/cm^2$

9. *Calculo del factor de forma S .*

En nuestro caso se tiene un diámetro interno nulo entonces el cálculo del factor de forma es:

$$S = \frac{D_e - D_i}{4t_g} = \frac{65,0 - 0,0}{4 * 0,8} = 20,313 \quad (12.125)$$

10. *Se establece el espesor de la capa de acero t_s y se comprueba su resistencia a la tensión admisible.*

Se define el espesor de la capa de acero $t_s = 0,3 \text{ cm}$

$$\tau_s = 1,5 \frac{t_g}{t_s} \tau_{ac} = 1,5 * \frac{0,5}{0,3} * 80 = 320,00 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.126)$$

$$\tau_{adm} = 0,75 \sigma_y = 0,75 * 2400 = 1800,00 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.127)$$

Luego se cumple que:

$$\tau_s \leq \tau_{adm}$$

11. *Calculo de la altura interna H_i y la altura total del aislador H_T .*

se procede a calcular la altura interna H_i del aislador.

$$H_i = H_g + (nc - 1)t_s = 16,0 + (20 - 1) * 0,3 = 21,70 \text{ cm} \quad (12.128)$$

Según los datos del fabricante en las dimensiones del aislador de 65 cm de diámetro la altura de las placas de acero exterior es $H_{pe} = 3,2 \text{ cm}$ y la altura de las placas interiores son de $H_{pi} = 2,50 \text{ cm}$.

Entonces se calcula la altura total del aislador:

$$H_T = H_i + 2H_{pe} + 2H_{pi} = 21,70 + 2 * 3,2 + 2 * 2,5 = 33,10 \text{ cm} \quad (12.129)$$

12. *Calculo de la rigidez y frecuencia vertical K_v y f_v .*

La rigidez vertical se obtiene de la ecuación:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} \text{ en } kg - f/cm \quad (12.130)$$

donde:

E_{ci} : Es el modulo de compresión de la unión acero goma y es calculado por la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{E_{ci}} = \left(\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K_g} \right) \quad (12.131)$$

Despejando se tiene:

$$E_{ci} = \frac{6GS^2K_g}{K_g + 8GS^2} = \frac{6 * 3,80 * 20,313^2 * 20000}{20000 + 8 * 3,80 * 20,313^2} = 5781,42 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.132)$$

Entonces se obtiene la rigidez vertical:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} = \frac{5781,42 * 3318,32}{16,0} = 1199035,544 \text{ kg} - f/cm \quad (12.133)$$

Entonces se cumple:

$$K_v > 1000 * K_{hi} = 1000 * 784,265 = 784265,0$$

$$1199035,544 > 784265,0$$

La frecuencia horizontal f_h : es equivalente a:

$$f_h = 1/T_D = 1/2,0 = 0,5 \text{ Hz}$$

La frecuencia vertical f_v : es calculada con:

$$f_v = \sqrt{6} S f_h = \sqrt{6} * 20,313 * 0,5 = 24,882 \text{ Hz}$$

Entonces se cumple:

$$f_v > 10 \text{ Hz}$$

13. *Se verifica la rigidez horizontal K_{hi} y el periodo objetivo T_D .*

Se re calcula la rigidez horizontal:

$$K_{hi} = \frac{GA}{H_g} = \frac{3,80 * 3318,32}{16,0} = 788,10 \text{ kgf/cm} \quad (12.134)$$

Con ella se obtiene el periodo objetivo:

$$TD_{HDR1} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W * \%KT_{HDR1}}{n_{HDR1} * K_{hi} * g}} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * 2884243,72 * 0,324}{12 * 788,10 * 981}} = 1,995 \text{ seg} \quad (12.135)$$

$$TD_{HDR2} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W * \%KT_{HDR2}}{n_{HDR2} * K_{hi} * g}} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * 2884243,72 * 0,675}{25 * 788,10 * 981}} = 1,995 \text{ seg} \quad (12.136)$$

como se puede observar el valor del periodo objetivo es prácticamente igual al valor inicialmente establecido.

14. *Verificación por deformación angular máxima.*

La deformación angular máxima se calcula con la suma de la deformación angular por corte γ_z y compresión γ_c , Tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c \quad (12.137)$$

Donde:

$$\gamma_z = \frac{D_{TM}}{H_g} = \frac{17,067}{16} = 1,066 \text{ grados} \quad (12.138)$$

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \text{ en grados} \quad (12.139)$$

ε_c : Es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E_O(1 + 2KS^2)} = \frac{80,00}{35(1 + 2 * 0,7 * 20,313^2)} = 0,00395 \quad (12.140)$$

entonces:

$$\gamma_c = 6 * S * \varepsilon_c = 6 * 20,313 * 0,00395 = 0,481 \text{ grados} \quad (12.141)$$

Entonces la deformación angular máxima es:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c = 1,066 + 0,481 = 1,548 \text{ grados} \quad (12.142)$$

La deformación angular máxima admisible esta dado por la siguiente ecuación

:

$$\gamma_{maxaceptable} = \frac{0,85 * 5,5}{F.S.} = \frac{4,675}{1,5} = 3,116 \text{ rad} \quad (12.143)$$

Se cumple la condición:

$$\gamma_m \leq \gamma_{maxaceptable}$$

15. Verificación por pandeo.

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \text{ kg} - f \quad (12.144)$$

Donde:

$$P_S = \frac{G * A * H_i}{H_g} = \frac{3,80 * 3318,32 * 21,70}{16,0} = 17018,557 \text{ kg} - f \quad (12.145)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_{ci} * I}{3 * H_i^2} \quad (12.146)$$

El modulo de compresión de la unión acero goma $E_{ci} = 5781,42 \text{ kg} - f/cm^2$

y el valor de I es igual a:

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{D_c}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right) = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{65,00}{2} \right)^4 - \left(\frac{0,00}{2} \right)^4 \right) = 876242,554 \text{ cm}^4 \quad (12.147)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 5781,42 * 876242,554}{3 * 21,70^2} = 35393199,584 \text{ kg} - f \quad (12.148)$$

Entonces el valor de P_{crit}

$$P_{crit} = \frac{17018,557}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{35393199,584}{17018,557}} - 1 \right) = 769498,0 \text{ kgf} \quad (12.149)$$

Finalmente se debe cumplir la siguiente condición para verificar la estabilidad por pandeo:

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = \frac{769498,0}{264839,91} = 2,905 \geq F.S \quad (12.150)$$

Por lo general el factor $F.S = 2$, entonces se cumple:

$$2,905 \geq 2 \quad (12.151)$$

16. Verificación por volcamiento.

$$D_{max} = \frac{P_{min} D_e}{P_{min} + K_{hi} H_i} = \frac{38133,45 * 65,0}{38133,45 + 788,10 * 21,70} = 44,942 \text{ cm} \quad (12.152)$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{D_{max}}{D_{TM}} = \frac{44,942}{17,067} = 2,633 \geq F.S \quad (12.153)$$

El factor de seguridad es $F.S = 1,0$ por el tipo de conexión fija con pernos, entonces se cumple:

$$2,633 \geq 1,0$$

12.5. Caso 4: Diseño de aislador HDR combinado con LRB

Se establecen los siguientes datos:

- Amortiguamiento efectivo de aisladores tipo HDR $\beta_{HDR} = 10,0 \%$.
- Amortiguamiento efectivo de aisladores tipo LRB $\beta_{LRB} = 20,0 \%$.
- Numero de aisladores sísmicos $N = 37$, $n_{HDR} = 25$ y $n_{LRB} = 12$.
- Porcentaje de rigidez total efectiva de aisladores tipo HDR $\%KT_{HDR} = 50,0 \%$.
- Porcentaje de rigidez total efectiva de aisladores tipo LRB $\%KT_{LRB} = 50,0 \%$.
- Deformación de corte directa máxima $\gamma_{cd} = 200 \%$.
- Deformación de corte máxima admisible $\gamma_{cma} = 250 \%$.
- Sismo de diseño $S_{D1} = 0,27 * g \text{ cm/s}^2$.
- Sismo máximo considerado $S_{M1} = 0,405 * g \text{ cm/s}^2$.
- Tipo de conexión: *Fija con pernos.*
- Tensión admisible de compresión $\tau_{ac} = 80 \text{ kg/cm}^2$.
- Peso total de la edificación $W = 2'884,243,72 \text{ kg} - f$
- Carga máxima $P_{max} = 264839,91 \text{ kg} - f$.

- Carga mínima $P_{min} = 38133,45 \text{ kg} - f$.
- Periodo objetivo $T_D = 2,0 \text{ seg}$.
- Esfuerzo de fluencia del plomo $\sigma_{yp} = 100 \text{ kg} - f/cm^2$.
- Diámetro interno $D_i = 0,0 \text{ cm}$.

1. **Calculo de la rigidez efectiva de cada tipo de aislador y la rigidez compuesta.**

De los datos $\%KT_{HDR} = 50,00\%$ y $\%KT_{LRB} = 50,00\%$ se observa que los porcentajes son iguales pero si este se distribuye por la cantidad de aisladores de cada tipo, la rigidez son diferentes.

La rigidez compuesta se obtiene por la siguiente ecuación:

$$K_{ht} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} = \frac{4 * \pi^2 * 2884243,72}{2,0^2 * 981} = 29017,81 \text{ kg} - f/cm \quad (12.154)$$

Si se distribuye según los porcentajes de rigidez se tiene:

$$KT_{HDR} = \%KT_{HDR} * K_{ht} = 0,50 * 29017,81 = 14508,9 \text{ kg} - f/cm \quad (12.155)$$

$$KT_{LRB} = \%KT_{LRB} * K_{ht} = 0,50 * 29017,81 = 14508,9 \text{ kg} - f/cm \quad (12.156)$$

Para cada aislador se tiene las siguientes rigideces:

$$Ki_{HDR} = KT_{HDR}/n_{HDR} = 14508,9/25 = 580,356 \text{ kg} - f/cm \quad (12.157)$$

$$Ki_{LRB} = KT_{LRB}/n_{LRB} = 14508,9/12 = 1209,08 \text{ kg} - f/cm \quad (12.158)$$

En este caso las rigideces efectivas de ambos aisladores son diferentes.

2. *Para ambos: Valor del porcentaje de amortiguamiento efectivo del sistema aislado β_f .*

El porcentaje de amortiguamiento es el resultado de la unión de los efectos de los amortiguamientos y rigideces de cada tipo de aislador.

$$\beta_f = \frac{\beta_{HDR} * n_{HDR} * K_{iHDR} + \beta_{LRB} * n_{LRB} * K_{iLRB}}{K_{ht}} \quad (12.159)$$

$$\beta_f = \frac{10,0 * 25 * 580,356 + 20,0 * 12 * 1209,08}{29017,81} = 15,00 \% \quad (12.160)$$

Como se puede observar el amortiguamiento efectivo final es calculado en función a las rigideces y amortiguamientos. Este valor es usado de ahora en adelante como el de diseño para las dimensiones de los aisladores, principalmente el valor de los desplazamientos de diseño y la altura total de la goma.

Debido a que ambos tipos de aisladores deben ser diseñados para diferentes rigideces y el mismo amortiguamiento(para las dimensiones). Se realizara el proceso para los dos tipos.

3. *Para ambos:Calculo del factor de reducción por amortiguamiento B_D .*

Teniendo el amortiguamiento efectivo $\beta_f = 15,00 \%$ se procede a interpolar los valores de B_D Usando el cuadro 4.13.

$$B_D = 1,35$$

4. *Para ambos: Calculo del desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} , desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema aislado.*

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D} = \frac{981 * 0,27 * 2,0}{4 * \pi^2 * 1,35} = 9,939 \text{ cm} \quad (12.161)$$

$$D_M = 1,5 * D_D = 14,909 \text{ cm} \quad (12.162)$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D = 10,934 \text{ cm} \quad (12.163)$$

$$D_{TM} = 1,1 * D_M = 16,40 \text{ cm} \quad (12.164)$$

5. Para LRB: Cálculo del diámetro posible del núcleo de plomo D_L , la fuerza característica de cada aislador Q_i y la fuerza característica total Q_t .

Usando la ecuación 7.60 donde se obtiene el diámetro del plomo en función de los siguientes datos:

- $K_{ef} = K_{iLRB} = 1209,08 \text{ kg} - f/cm$
- $D_{TM} = 16,40 \text{ cm}$
- $\beta = 20,0 \%$
- $\sigma_{yp} = 100 \text{ kg} - f/cm^2$
- $f_n = 10$

$$A * Q_i^2 + B * Q_i + C = 0 \quad (12.165)$$

Donde:

$$A = \frac{1}{f_n - 1} + 1 = \frac{1}{10 - 1} + 1 = 1,111 \quad (12.166)$$

$$A1 = 2 * \Pi * \beta * D_{TM}^2 = 2 * 3,1416 * 0,20 * 16,40^2 = 337,997 \quad (12.167)$$

$$B = -\frac{A1 + 4 * D_{TM}^2}{4 * D_{TM}} * K_{ef} = -\frac{337,997 + 4 * 16,40^2}{4 * 16,40} * 1209,08 = -26058,709 \quad (12.168)$$

$$C = \frac{A1 * K_{cf}^2}{4} = \frac{337,997 * 1209,08^2}{4} = 123526519,44 \quad (12.169)$$

Entonces se tiene la ecuación cuadrática final:

$$1,111 * Q_i^2 - 26058,709 * Q_i + 123526519,44 = 0 \quad (12.170)$$

Donde las raíces de dicha ecuación son las siguientes:

$$Q_{i1} = 16858,186 \tag{12.171}$$

$$Q_{i2} = 6594,651 \tag{12.172}$$

Entonces los diámetros de plomo resultantes se despejan de la ecuación:

$$D_{Li} = \sqrt{\frac{4 * Q_i}{\Pi * \sigma_{yp}}} \tag{12.173}$$

Se tienen:

$$D_{L1} = \sqrt{\frac{4 * 16858,186}{\Pi * 100}} = 14,65 \tag{12.174}$$

$$D_{L2} = \sqrt{\frac{4 * 6594,651}{\Pi * 100}} = 9,163 \tag{12.175}$$

Se usara $D_L = 9,15 \text{ cm}$ y $Q_i = 100 * 3,1416 * 9,15^2/4 = 6575,57 \text{ Kg} - f$ y

Entonces la fuerza característica total de los aisladores LRB es:

$$Q_t = Q_i * n_{LRB} = 6575,57 * 12 = 78906,782 \text{ Kg} - f \tag{12.176}$$

6. *Calculo del área del aislador A , diámetro externo D_e.*

$$A = \frac{P_{max}}{\tau_{ac}} = \frac{264839,91}{80,0} = 3310,5 \text{ cm}^2 \tag{12.177}$$

Para HDR:

$$D_i = 0,00 \text{ cm}$$

se calcula el diámetro externo:

$$D_e = 2\sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{D_i^2}{4}} = 2\sqrt{\frac{3310,5}{\pi} + \frac{0,0^2}{4}} = 64,923 \text{ cm} \tag{12.178}$$

Se promedia el diámetro al valor:

$$D_e = 65,0 \text{ cm}$$

Entonces se recalcula el área del aislador:

$$A = \pi * \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right) = \pi * \left(\frac{65,0^2}{4} - \frac{9,15^2}{4} \right) = 3318,32 \text{ cm}^2 \quad (12.179)$$

Para LRB:

Teniendo del dato del diámetro del plomo $D_L = D_i = 9,15 \text{ cm}$

se calcula el diámetro externo:

$$D_e = 2\sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{D_i^2}{4}} = 2\sqrt{\frac{3318,32}{\pi} + \frac{9,15^2}{4}} = 65,565 \text{ cm} \quad (12.180)$$

Se lleva el valor del diámetro al inmediato superior de los datos del fabricante:

$$D_e = 70,0 \text{ cm}$$

Entonces se recalcula el área del aislador:

$$A = \pi * \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right) = \pi * \left(\frac{70,0^2}{4} - \frac{9,15^2}{4} \right) = 3782,7 \text{ cm}^2 \quad (12.181)$$

7. *Para ambos: Cálculo de la altura total de la goma del aislador H_g , el espesor de la capa de goma t_g , número de capas de goma nc y el valor final de la altura total de la goma H_g .*

$$H_g = \frac{D_{TM}}{\delta_{cd}} = \frac{16,4}{2,0} = 8,20 \text{ cm} \quad (12.182)$$

Se propone el espesor de la capa de goma: $t_g = 0,8 \text{ cm}$

Entonces el número de capas de goma es: $nc = \frac{H_g}{t_g} = \frac{8,20}{0,8} = 10,25 \text{ capas}$

se define $nc = 22 \text{ capas}$ para el cumplimiento de el módulo de corte G mas adelante calculado.

para la cual la altura total de la goma final es: $H_g = 22 * 0,8 = 17,60 \text{ cm}$

8. *Cálculo del módulo de corte G del aislador.*

Para HDR:

$$G = \frac{K_{hi}H_g}{A} = \frac{580,356 * 17,6}{3318,32} = 3,078 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.183)$$

Se usara el valor de $G = 3,0 \text{ kg} - f/cm^2$

Para LRB:

$$G = \frac{K_{hi}H_g}{A} = \frac{1209,08 * 17,6}{3782,7} = 3,760 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.184)$$

Se usara el valor de $G = 3,80 \text{ kg} - f/cm^2$

9. *Calculo del factor de forma S.*

Para HDR:

$$S = \frac{D_e - D_i}{4 * t_g} = \frac{65,00 - 0,00}{4 * 0,8} = 20,3125 \quad (12.185)$$

Para LRB:

$$S = \frac{D_e^2 - D_i^2}{4 * D_e * t_g} = \frac{70,0^2 - 9,15^2}{4 * 70,0 * 0,8} = 21,5012 \quad (12.186)$$

10. *Para ambos: Se establece el espesor de la capa de acero t_s y se comprueba su resistencia a la tensión admisible.*

Se define el espesor de la capa de acero $t_s = 0,3 \text{ cm}$

$$\tau_s = 1,5 \frac{t_g}{t_s} \tau_{uc} = 1,5 * \frac{0,8}{0,3} * 80,0 = 320,00 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.187)$$

$$\tau_{adm} = 0,75 \sigma_y = 0,75 * 2400 = 1800,00 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.188)$$

Luego se cumple que:

$$\tau_s \leq \tau_{adm}$$

11. *Para ambos: Calculo de la altura total H_T y la altura interna H_i .*

se procede a calcular la altura interna H_i del aislador.

$$H_i = H_g + (nc - 1)t_s = 17,6 + (22 - 1) * 0,3 = 23,90 \text{ cm} \quad (12.189)$$

Según los datos del fabricante en las dimensiones del aislador de 65 y 70 cm de diámetro la altura de las placas de acero exterior es $H_{pe} = 3,2 \text{ cm}$ y la altura de las placas interiores son de $H_{pi} = 2,50 \text{ cm}$

Entonces se calcula la altura total del aislador:

$$H_T = H_i + 2H_{pe} + 2H_{pi} = 23,90 + 2 * 3,2 + 2 * 2,5 = 35,30 \text{ cm} \quad (12.190)$$

12. *Para LRB: Se calcula la rigidez de postfluencia, la rigidez inicial y la rigidez efectiva.*

La rigidez postfluencia del aislador es:

$$K_{hp} = \frac{G * A}{H_g} = \frac{3,80 * 3782,7}{17,6} = 816,720 \text{ kg} - f/cm \quad (12.191)$$

La rigidez inicial sera considerada como 10 veces la rigidez de postfluencia.

$$K_i = (6,5a10)K_{hp} = 10 * 816,720 = 8167,20 \text{ kg} - f/cm \quad (12.192)$$

La rigidez efectiva se calcula con la ecuación:

$$K_{ef} = K_{hp} + \frac{Q_i}{D_{TM}} = 816,720 + \frac{6575,57}{16,4} = 1217,66 \text{ kg} - f/cm \quad (12.193)$$

El valor de la rigidez efectiva esta muy próximo al valor de $K_{hi} = 1209,08 \text{ kg} - f/cm$ inicialmente calculado.

13. *Para HDR: Se calcula la rigidez de efectiva final.*

Debido a que se considero un valor de $G = 3,0 \text{ Kg} - f/cm^2$ se tiene la rigidez efectiva:

$$K_{ef} = K_{hi} = \frac{G * A}{H_g} = \frac{3,0 * 3318,32}{17,60} = 565,622 \text{ kg} - f/cm \quad (12.194)$$

14. *Para LRB: Se calcula el desplazamiento de fluencia, la fuerza de fluencia y la energía disipada.*

Se calcula el desplazamiento de fluencia considerando con la siguiente ecuación:

$$D_y = \frac{Q_i}{K_i - K_{hp}} = \frac{6575,57}{8167,20 - 816,720} = 0,894 \text{ cm} \quad (12.195)$$

La fuerza de fluencia del aislador es:

$$F_y = Q_i + K_{hp} * D_y = 6575,57 + 816,720 * 0,894 = 7306,18 \text{ kg} - f \quad (12.196)$$

La energía disipada del aislador es:

$$W_D = 4 * Q_i * (D_{TM} - D_y) = 4 * 6575,57 * (16,40 - 0,894) = 407842 \text{ kg} - f * \text{cm} \quad (12.197)$$

15. *Para LRB: se calcula el amortiguamiento efectivo final β .*

El amortiguamiento efectivo final β es:

$$\beta = \frac{W_D}{2 * H * K_{ef} * D_{TM}^2} = \frac{407842}{2 * 3,1416 * 1217,66 * 16,4^2} = 0,1981 \quad (12.198)$$

Entonces el amortiguamiento efectivo del aislador LRB es 19,81 %

16. *Para ambos: Calculo de la rigidez compuesta del sistema de aislamiento.*

$$K_{efT} = K_{efHDR} * n_{HDR} + K_{efLRB} * n_{LRB} = 565,622 * 25 + 1217,66 * 12 = 28752,47 \text{ kg} - f / \text{cm} \quad (12.199)$$

Este valor esta muy próximo al valor inicialmente calculado: $K_{ht} = 29017,8 \text{ kg} - f / \text{cm}$

17. *Para ambos: Calculo del amortiguamiento final del sistema de aislamiento.*

$$\beta_f = \frac{\beta_{HDR} * n_{HDR} * K_{efHDR} + \beta_{LRB} * n_{LRB} * K_{efLRB}}{K_{efT}} =$$

$$\frac{10,0 * 25 * 565,622 + 19,818 * 12 * 1217,66}{28752,47} = 14,989 \%$$

Este valor esta muy próximo al valor inicialmente calculado: $\beta_f = 15,00 \%$

18. *Para ambos: Cálculo del coeficiente de amortiguamiento final del sistema de aislamiento.*

Teniendo el amortiguamiento efectivo $\beta = 15,00\%$ se procede a interpolar los valores de B_D Usando el cuadro 4.13.

$$B_D = 1,35 \quad (12.200)$$

19. *Para ambos: Se calcula el periodo real del sistema de aislamiento T_D .*

$$T_D = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W}{K_{eff} * g}} = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * 2884243,72}{28752,47 * 981}} = 2,009 \text{ seg} \quad (12.201)$$

como se puede observar el valor del periodo real es igual al periodo inicialmente supuesto.

20. *Para ambos: Deformación a cortante de diseño final δ_{cd} .*

$$\delta_{cd} = \frac{D_{TM}}{H_g} = \frac{16,40}{17,60} = 0,931 \quad (12.202)$$

Este valor es menor al máximo establecido 250 %

21. *Cálculo de la rigidez y frecuencia vertical K_v y f_v .*

Para HDR:

La rigidez vertical se obtiene de la ecuación

$$K_v = \frac{E_{ci} A}{H_g} \text{ en } \text{kgf/cm} \quad (12.203)$$

$$\frac{1}{E_{ci}} = \left(\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K_g} \right) \quad (12.204)$$

Despejando se tiene:

$$E_{ci} = \frac{6GS^2 K_g}{K_g + 8GS^2} = \frac{6 * 3,0 * 20,313^2 * 20000}{20000 + 8 * 3,0 * 20,313^2} = 4967,341 \text{ kg-f/cm}^2 \quad (12.205)$$

Entonces se obtiene la rigidez vertical:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} = \frac{4967,341 * 3318,32}{17,60} = 936545,69 \text{ kg} - f/cm \quad (12.206)$$

se cumple: $K_v > 1000 * K_{hi} = 1000 * 565,622 = 565622,00$

$$936545,69 > 565622,00$$

Para LRB:

La rigidez vertical se obtiene de la ecuación:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} + \frac{E_{pl}A_p}{H_{pl}} \text{ en kg} - f/cm \quad (12.207)$$

Se obtiene el valor de S para un diámetro interno de 9,15 cm hucco.

$$S = \frac{D_c - D_i}{4 * t_g} = \frac{70,00 - 9,15}{4 * 0,8} = 19,015 \quad (12.208)$$

$$E_{ci} = \frac{6GS^2K_g}{K_g + 8GS^2} = \frac{6 * 3,80 * 19,015^2 * 20000}{20000 + 8 * 3,8 * 19,015^2} = 5320,23 \text{ kg} - f/cm^2 \quad (12.209)$$

Entonces se obtiene la rigidez vertical:

$$K_v = \frac{E_{ci}A}{H_g} + \frac{E_{pl}A_p}{H_{pl}} = \frac{5320,23 * 3782,7}{17,60} + \frac{140000 * \frac{\pi * 9,15^2}{4}}{23,9} = 1528636,367 \text{ kg} - f/cm \quad (12.210)$$

se cumple: $K_v > 1000 * K_h = 1000 * 1217,66 = 1217660,0$

$$1528636,367 > 1217660,0$$

la frecuencia horizontal f_h : es equivalente a:

$$f_h = 1/T_D = 1/2,0 = 0,5 \text{ Hz}$$

Para HDR:

La frecuencia vertical f_v : es calculada con:

$$f_v = \sqrt{6} S f_h = \sqrt{6} * 20,313 * 0,5 = 24,882 \text{ Hz}$$

Para LRB:

La frecuencia vertical f_v : es calculada con:

$$f_v = \sqrt{6} S f_h = \sqrt{6} * 21,501 * 0,5 = 26,432 \text{ Hz}$$

Entonces se cumple para ambos casos:

$$f_v > 10 \text{ Hz}$$

22. Verificación por deformación angular máxima.

La deformación angular máxima se calcula con la siguientes ecuación:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c \quad (12.211)$$

La deformación angular por efectos del corte es la misma para los dos tipos de aisladores.

$$\gamma_z = \frac{D_{TM}}{H_g} = \frac{16,40}{17,6} = 0,931 \text{ rad} \quad (12.212)$$

La deformación angular por efectos del compresión es diferente para los dos tipos de aisladores.

Para HDR:

$$\gamma_c = \frac{6 * S * P_{max}/A}{E_O(1 + 2KS^2)} = \frac{6 * 20,313 * 80,00}{35(1 + 2 * 0,7 * 20,313^2)} = 0,481 \text{ rad} \quad (12.213)$$

Entonces la deformación angular máxima es:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c = 0,931 + 0,481 = 1,413 \text{ rad} \quad (12.214)$$

Para LRB:

$$\gamma_c = \frac{6 * S * P_{max}/A}{E_O(1 + 2KS^2)} = \frac{6 * 21,501 * 80,00}{35(1 + 2 * 0,7 * 21,501^2)} = 0,455 \text{ rad} \quad (12.215)$$

Entonces la deformación angular máxima es:

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c = 0,931 + 0,455 = 1,386 \text{ rad} \tag{12.216}$$

La deformación angular máxima aceptable esta dado por la siguiente ecuación :

$$\gamma_{maxacceptable} = \frac{4,675}{F.S.} = \frac{4,675}{1,5} = 3,116 \text{ rad} \tag{12.217}$$

Se cumple para ambos casos la condición:

$$\gamma_m \leq \gamma_{maxacceptable}$$

23. Verificación por pandeo,

Para HDR:

$$P_{crit} = \frac{P_S}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_S}} - 1 \right) \text{ kg} - f \tag{12.218}$$

Donde:

$$P_S = \frac{G * A * H_i}{H_g} = \frac{3,0 * 3318,32 * 23,9}{17,6} = 13518,362 \text{ kg} - f \tag{12.219}$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_{ci} * I}{3 * H_i^2} \tag{12.220}$$

El modulo de compresión de la unión acero goma $E_{ci} = 4967,341 \text{ kg} - f/cm^2$ y el valor de I es igual a:

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{D_c}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right) = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{65,00}{2} \right)^4 - \left(\frac{0,00}{2} \right)^4 \right) = 876242,554 \text{ cm}^4 \tag{12.221}$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 4967,341 * 876242,554}{3 * 23,9^2} = 25068773,615 \text{ kg} - f \tag{12.222}$$

Entonces el valor de P_{crit}

$$P_{crit} = \frac{13518,362}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{25068773,615}{13518,362}} - 1 \right) = 575421,601 \text{ kg-f} \quad (12.223)$$

Finalmente se debe cumplir la siguiente condición para verificar la estabilidad por pandeo:

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = \frac{575421,601}{264839,91} = 2,172 \geq F.S \quad (12.224)$$

Por lo general el factor $F.S = 2$, entonces se cumple:

$$2,172 \geq 2 \quad (12.225)$$

Para LRB:

$$P_{crit} = \frac{P_S}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_S}} - 1 \right) \text{ kg-f} \quad (12.226)$$

Donde:

$$P_S = \frac{G * A * H_i}{H_g} = \frac{3,8 * 3782,7 * 23,9}{17,6} = 19519,614 \text{ kg-f} \quad (12.227)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_{ci} * I}{3 * H_i^2} \quad (12.228)$$

El modulo de compresión de la unión accero goma $E_{ci} = 5320,23 \text{ kg-f/cm}^2$.

y el valor de I es igual a:

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{D_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right) = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{70,0}{2} \right)^4 - \left(\frac{9,15}{2} \right)^4 \right) = 1178246,798 \text{ cm}^4 \quad (12.229)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 5320,23 * 1178246,798}{3 * 23,9^2} = 36103642,998 \text{ kg-f} \quad (12.230)$$

Entonces el valor de P_{crit}

$$P_{crit} = \frac{19519,614}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{36103642,998}{19519,614}} - 1 \right) = 829778,419 \text{ kg-f} \quad (12.231)$$

Finalmente se debe cumplir la siguiente condición para verificar la estabilidad por pandeo:

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = \frac{829778,419}{264839,91} = 3,133 \geq F.S \quad (12.232)$$

Por lo general el factor $F.S = 2$, entonces se cumple:

$$3,133 \geq 2 \quad (12.233)$$

24. Verificación por volcamiento

Para HDR:

$$D_{max} = \frac{P_{min} D_e}{P_{min} + K_{hi} H_i} = \frac{38133,45 * 65,00}{38133,45 + 565,622 * 23,9} = 47,998 \text{ cm} \quad (12.234)$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{D_{max}}{D_{TM}} = \frac{47,998}{16,40} = 2,926 \geq F.S \quad (12.235)$$

El factor de seguridad $F.S = 1,0$ por el tipo de conexión fija con pernos, entonces se cumple:

$$2,926 \geq 1,0$$

Para LRB:

$$D_{max} = \frac{P_{min} D_e}{P_{min} + K_{hi} H_i} = \frac{38133,45 * 70,00}{38133,45 + 1217,66 * 23,90} = 39,701 \text{ cm} \quad (12.236)$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{D_{max}}{D_{TM}} = \frac{39,701}{16,40} = 2,42 \geq F.S \quad (12.237)$$

El factor de seguridad $F.S = 1,0$ por el tipo de conexión fija con pernos, entonces se cumple:

$$2,42 \geq 1,0$$

12.6. Modelación bilineal de aisladores

1. Caso 1: Diseño del aislamiento basal con aisladores HDR.

a) Datos:

Del proceso realizado para este caso se presentan los datos necesarios para la modelación bilineal:

- Rigidez efectiva lineal: $K_{ef} = 788,10 \text{ kg} - f/cm$
- Desplazamiento total máximo: $D_{TM} = 18,45 \text{ cm}$
- Amortiguamiento efectivo: $\beta = 10,0 \%$
- Altura total de la goma: $H_g = 16,0 \text{ cm}$
- Periodo real del sistema: $T_d = 2,00 \text{ seg}$

b) Procedimiento:

1) Cálculo preliminar del desplazamiento de fluencia.

$$D_y = 0,1H_g = 0,1 * 16,0 = 1,6 \text{ cm} \quad (12.238)$$

2) Cálculo de la energía disipada por el aislador W_D .

$$W_D = 2 * \Pi * K_{ef} * D_{TM}^2 * \beta = 2 * 3,1416 * 788,10 * 18,45^2 * 0,10 = 168571,00 \text{ Kg}f - cm \quad (12.239)$$

3) Cálculo de la fuerza a deformación nula del aislador Q_i .

$$Q_i = \frac{W_D}{4 * (D_{TM} - D_y)} = \frac{168571,00}{4 * (18,45 - 1,60)} = 2500,96 \text{ Kg} - f \quad (12.240)$$

4) Cálculo de la rigidez de postfluencia del aislador K_p .

$$K_p = K_{ef} - \frac{Q_i}{D_{TM}} = 788,10 - \frac{2500,96}{18,45} = 652,551 \text{ kg} - f/cm \quad (12.241)$$

5) *Calculo de la rigidez inicial del aislador K_i .*

$$K_i = \frac{Q_i}{D_y} + K_p = \frac{2500,96}{1,60} + 652,551 = 2215,65 \text{ kg} - f/cm \quad (12.242)$$

6) *Calculo de la fuerza de fluencia del aislador F_y .*

$$F_y = Q_i + K_p * D_y = 2500,96 + 652,551 * 1,60 = 3545,05 \text{ Kg} - f \quad (12.243)$$

7) *Calculo del desplazamiento de fluencia final del aislador D_y .*

$$D_y = \frac{Q_i}{K_i - K_p} = \frac{2500,96}{2215,65 - 652,551} = 1,60 \text{ cm} \quad (12.244)$$

8) *Calculo de la frecuencia angular del sistema ω y el coeficiente de amortiguamiento C .*

$$\omega = \frac{2 * \Pi}{T_d} = \frac{2 * \Pi}{1,995} = 3,1494 \text{ rad/seg} \quad (12.245)$$

El coeficiente de amortiguamiento C es:

$$C = \frac{W_D}{\Pi * D_{TM}^2 * \omega} = \frac{168571,00}{3,1416 * 18,45^2 * 3,1494} = 50,05 \text{ kg} - f * s/cm \quad (12.246)$$

Ver resultados en la tabla 12.1

2. Caso 2: Diseño del aislamiento basal con aisladores LRB.

Para el presente caso la mayoría de los datos para el modelamiento bilineal ya fueron calculados en el procedimiento respectivo.

- Rigidez efectiva lineal: $K_{ef} = 790,108 \text{ kg} - f/cm$
- Desplazamiento total máximo: $D_{TM} = 14,748 \text{ cm}$
- Amortiguamiento efectivo del sistema: $\beta = 19,86 \%$
- Altura total de la goma del aislador: $H_g = 14,40 \text{ cm}$
- Periodo real del sistema: $T_d = 1,992 \text{ seg}$
- Desplazamiento de fluencia del aislador: $D_y = 0,808 \text{ cm}$

Tabla 12.1. Resultados para modelación bilineal de aislador HDR.

Resultados aislador HDR			
Propiedad	Variable	Cantidad	Unidad
Rigidez vertical	K_v	1199035.544	kg-f/cm
Rigidez efectiva horizontal	K_{ef}	788.10	kg-f/cm
Rigidez inicial	K_i	2215.65	kg-f/cm
Rigidez de postfluencia	K_p	652.551	kg-f/cm
Fuerza de fluencia	F_y	3545.05	kg-f
Relación K_p/K_i	r	0.294	
Amortiguamiento efectivo	C	50.05	kg-f*s/cm
Energía disipada	W_D	168571.00	kg-f*cm
Desplazamiento de fluencia	D_y	1.60	cm

- Fuerza de fluencia del aislador: $F_y = 4276,07 \text{ kg} - f$
- Energía disipada del aislador: $W_D = 214592,0 \text{ kg} - f * \text{cm}$
- Fuerza a deformación nula del aislador: $Q_i = 3848,46 \text{ kg} - f$
- Rigidez inicial: $K_i = 5291,63 \text{ kg} - f/\text{cm}$
- Rigidez de postfluencia: $K_p = 529,163 \text{ kg} - f/\text{cm}$

Los cálculos adicionales a realizar son:

- *Calculo de la frecuencia angular del sistema ω y el coeficiente de amortiguamiento C .*

$$\omega = \frac{2 * \Pi}{T_d} = \frac{2 * \Pi}{1,992} = 3,153 \text{ rad/seg} \quad (12.247)$$

El coeficiente de amortiguamiento C es:

$$C = \frac{W_D}{\Pi * D_{TM}^2 * \omega} = \frac{214592,0}{3,1416 * 14,748^2 * 3,153} = 99,605 \text{ kg} - f * \text{s/cm} \quad (12.248)$$

Ver resultados en tabla 12.2

3. *Caso 3: Diseño de aislamiento basal con dos tipos de aisladores HDR.*

Tabla 12.2. Resultados para modelación bilineal de aislador LRB.

Resultados aislador LRB			
Propiedad	Variable	Cantidad	Unidad
Rigidez vertical	K_v	1215644.14	kg-f/cm
Rigidez efectiva horizontal	K_{ef}	790.108	kg-f/cm
Rigidez inicial	K_i	5291.63	kg-f/cm
Rigidez de postfluencia	K_p	529.163	kg-f/cm
Fuerza de fluencia	F_y	4276.07	kg-f
Relación K_p/K_i	r	0.10	
Amortiguamiento efectivo	C	99.605	kg-f*s/cm
Energía disipada	W_D	214592.0	kg-f*cm
Desplazamiento de fluencia	D_y	0.808	cm

a) *Datos:*

Del proceso realizado para este caso se presentan los datos necesarios para la modelación bilineal:

▪ *Datos de aislador HDR1*

- Rigidez efectiva lineal: $K_{ef} = 788,10 \text{ kg} - \text{f/cm}$
- Desplazamiento de diseño: $D_{TM} = 17,066 \text{ cm}$
- Amortiguamiento efectivo: $\beta = 20,0 \%$
- Altura total de la goma: $H_g = 16,0 \text{ cm}$
- Periodo real del sistema: $T_d = 1,995 \text{ seg}$

▪ *Datos de aislador HDR2*

- Rigidez efectiva lineal: $K_{ef} = 788,10 \text{ kg} - \text{f/cm}$
- Desplazamiento de diseño: $D_{TM} = 17,066 \text{ cm}$
- Amortiguamiento efectivo: $\beta = 10,0 \%$
- Altura total de la goma: $H_g = 16,0 \text{ cm}$
- Periodo real del sistema: $T_d = 1,995 \text{ seg}$

b) *Procedimiento:*

1) *Calculo del Desplazamiento de fluencia.*

El desplazamiento de fluencia es igual para ambos casos

$$D_y = 0,1H_g = 0,1 * 16,0 = 1,60 \text{ cm} \quad (12.249)$$

2) *Calculo de la energía disipada por el aislador W_D .*

Se calcula la energia disipada en unidades $Kg - f * cm$

■ *Para HDR1:*

$$W_D = 2 * \Pi * K_{ef} * D_{TM}^2 * \beta = 2 * 3,1416 * 788,10 * 17,066^2 * 0,20 = 288467,178 \quad (12.250)$$

■ *Para HDR2:*

$$W_D = 2 * \Pi * K_{ef} * D_{TM}^2 * \beta = 2 * 3,1416 * 788,10 * 17,066^2 * 0,10 = 144234,0 \quad (12.251)$$

3) *Calculo de la fuerza a deformación nula del aislador Q_i .*

■ *Para HDR1:*

$$Q_i = \frac{W_D}{4 * (D_{TM} - D_y)} = \frac{288467,178}{4 * (17,066 - 1,60)} = 4662,68 \text{ Kg} - f \quad (12.252)$$

■ *Para HDR2:*

$$Q_i = \frac{W_D}{4 * (D_{TM} - D_y)} = \frac{144234,0}{4 * (17,066 - 1,60)} = 2331,34 \text{ Kg} - f \quad (12.253)$$

4) *Calculo de la rigidez de postfluencia del aislador K_p .*

■ *Para HDR1:*

$$K_p = K_{ef} - \frac{Q_i}{D_{TM}} = 788,10 - \frac{4662,68}{17,066} = 514,898 \text{ kg} - f/cm \quad (12.254)$$

■ *Para HDR2:*

$$K_p = K_{ef} - \frac{Q_i}{D_{TM}} = 788,10 - \frac{2331,34}{17,066} = 651,499 \text{ kg} - f/cm \quad (12.255)$$

5) *Calculo de la rigidez inicial del aislador K_i .*

■ Para HDR1:

$$K_i = \frac{Q_i}{D_y} + K_p = \frac{4662,68}{1,60} + 514,898 = 3429,07 \text{ kg} - f/cm \quad (12.256)$$

■ Para HDR2:

$$K_i = \frac{Q_i}{D_y} + K_p = \frac{2331,34}{1,60} + 651,499 = 2108,59 \text{ kg} - f/cm \quad (12.257)$$

6) *Calculo de la fuerza de fluencia del aislador F_y .*

■ Para HDR1:

$$F_y = Q_i + K_p * D_y = 4662,68 + 514,898 * 1,60 = 5486,52 \text{ Kg} - f \quad (12.258)$$

■ Para HDR2:

$$F_y = Q_i + K_p * D_y = 2331,34 + 651,499 * 1,60 = 3373,74 \text{ Kg} - f \quad (12.259)$$

7) *Calculo de la frecuencia angular del sistema ω y el coeficiente de amortiguamiento C .*

La frecuencia angular es la misma para los dos tipos de aisladores.

$$\omega = \frac{2 * \Pi}{T_d} = \frac{2 * \Pi}{1,995} = 3,1494 \text{ rad/seg} \quad (12.260)$$

El coeficiente de amortiguamiento C es:

■ Para HDR1:

$$C = \frac{W_D}{\Pi * D_{TM}^2 * \omega} = \frac{288467}{3,1416 * 17,066^2 * 3,1494} = 100,09 \text{ kg} - f*s/cm \quad (12.261)$$

■ Para HDR2:

$$C = \frac{W_D}{\Pi * D_{TM}^2 * \omega} = \frac{144234}{3,1416 * 17,066^2 * 3,1494} = 50,05 \text{ kg} - f*s/cm \quad (12.262)$$

Ver resultados en tabla 12.3

Tabla 12.3. Resultados para modelación bilineal de combinación de dos tipos de aislador HDR.

Resultados aislador HDR1 Y HDR2				
Propiedad	Variable	Cant. HDR1	Cant. HDR2	Unidad
Rigidez vertical	K_v	1199035.544	1199035.544	kg-f/cm
Rigidez efectiva horizontal	K_{ef}	788.10	788.10	kg-f/cm
Rigidez inicial	K_i	3429.07	2108.59	kg-f/cm
Rigidez de postfluencia	K_p	514.898	651.499	kg-f/cm
Fuerza de fluencia	F_y	5486.52	3373.74	kg-f
Relación K_p/K_i	r	0.150	0.308	
Amortiguamiento efectivo	C	100.09	50.04	kg-f*s/cm
Energía disipada	W_D	288467.0	144234.0	kg-f*cm
Desplazamiento de fluencia	D_y	1.60	1.60	cm

4. *Caso 4:Diseño de aislamiento basal con aislador HDR en combinación con LRB.*

a) *Datos:*

Del proceso realizado para este caso se presentan los datos necesarios para la modelación bilineal:

▪ *Datos de aislador HDR.*

- Rigidez efectiva lineal: $K_{ef} = 565,622 \text{ kg} - \text{f/cm}$
- Desplazamiento total máximo: $D_{TM} = 16,40 \text{ cm}$
- Amortiguamiento efectivo: $\beta = 10,00 \%$
- Altura total de la goma: $H_g = 17,60 \text{ cm}$
- Periodo real del sistema: $T_d = 2,025 \text{ seg}$

▪ *Datos de aislador LRB*

- Rigidez efectiva lineal: $K_{ef} = 1217,66 \text{ kg} - \text{f/cm}$
- Desplazamiento total máximo: $D_{TM} = 16,40 \text{ cm}$
- Amortiguamiento efectivo: $\beta = 20,0 \%$
- Altura total de la goma: $H_g = 17,60 \text{ cm}$
- Periodo real del sistema: $T_d = 1,992 \text{ seg}$

- Deformación de fluencia del aislador: $D_y = 0,894 \text{ cm}$
- Fuerza de fluencia del aislador: $F_y = 7306,18 \text{ kg} - f$
- Energía disipada del aislador: $W_D = 407842,0 \text{ kg} - f * \text{cm}$
- Fuerza a deformación nula del aislador: $Q_i = 6575,57 \text{ kg} - f$
- Rigidez inicial: $K_i = 8167,2 \text{ kg} - f/\text{cm}$
- Rigidez de postfluencia: $K_p = 816,72 \text{ kg} - f/\text{cm}$

b) Procedimiento:

1) Calculo del Desplazamiento de fluencia.

■ *Para HDR:*

El desplazamiento de fluencia en este paso es preliminar

$$D_y = 0,1H_g = 0,1 * 17,60 = 1,76 \text{ cm} \quad (12.263)$$

■ *Para LRB:*

$$D_y = 0,894 \text{ cm}$$

2) Calculo de la energía disipada por el aislador W_D .

■ *Para HDR:*

$$W_D = 2 * \Pi * K_{ef} * D_{TM}^2 * \beta = 2 * 3,1416 * 565,622 * 16,40^2 * 0,10 = 95592,2 \text{ Kg} - f * \text{cm} \quad (12.264)$$

■ *Para LRB:*

$$W_D = 407842,0 \text{ Kg} - f * \text{cm}$$

3) Calculo de la fuerza a deformación nula del aislador Q_i .

■ *Para HDR:*

$$Q_i = \frac{W_D}{4 * (D_{TM} - D_y)} = \frac{95592,2}{4 * (16,40 - 1,76)} = 1632,32 \text{ Kg} - f \quad (12.265)$$

■ *Para LRB:*

$$Q_i = 6575,57 \text{ Kg} - f$$

4) Calculo de la rigidez de postfluencia del aislador K_p .

■ Para HDR:

$$K_p = K_{ef} - \frac{Q_i}{D_{TM}} = 565,622 - \frac{1632,32}{16,40} = 466,093 \text{ kg} - f/cm \quad (12.266)$$

■ Para LRB:

$$K_p = 816,72 \text{ kg} - f/cm$$

5) *Calculo de la rigidez inicial del aislador K_i .*

■ Para HDR:

$$K_i = \frac{Q_i}{D_y} + K_p = \frac{1632,32}{1,76} + 466,093 = 1393,55 \text{ kg} - f/cm \quad (12.267)$$

■ Para LRB:

$$K_i = 8167,2 \text{ kg} - f/cm$$

6) *Calculo de la fuerza de fluencia del aislador F_y .*

■ Para HDR:

$$F_y = Q_i + K_p * D_y = 1632,32 + 466,093 * 1,76 = 2452,65 \text{ Kg} - f \quad (12.268)$$

■ Para LRB:

$$F_y = 7306,18 \text{ kg} - f$$

7) *Calculo de la frecuencia angular del sistema ω y el coeficiente de amortiguamiento C .*

■ Para HDR:

La frecuencia angular es:

$$\omega = \frac{2 * \Pi}{T_d} = \frac{2 * \Pi}{2,025} = 3,1014 \text{ rad/seg} \quad (12.269)$$

El coeficiente de amortiguamiento C es:

$$C = \frac{W_D}{\Pi * D_{TM}^2 * \omega} = \frac{95592,2}{3,1416 * 16,40^2 * 3,1014} = 36,474 \text{ kg} - f*s/cm \quad (12.270)$$

▪ Para LRB:

La frecuencia angular es:

$$\omega = \frac{2 * \Pi}{T_d} = \frac{2 * \Pi}{1,992} = 3,152 \text{ rad/seg} \tag{12.271}$$

El coeficiente de amortiguamiento *C* es:

$$C = \frac{W_D}{\Pi * D_{TM}^2 * \omega} = \frac{407842,0}{3,1416 * 16,40^2 * 3,152} = 153,087 \text{ kg}\cdot\text{f}\cdot\text{s/cm} \tag{12.272}$$

Ver resultados en tabla 12.4

Tabla 12.4. Resultados para modelación bilineal de combinación de aisladores HDR y LRB.

Resultados aislador HDR Y LRB				
Propiedad	Variable	Cant. HDR	Cant. LRB	Unidad
Rigidez vertical	K_v	936545.69	1528636.36	kg-f/cm
Rigidez efectiva horizontal	K_{ef}	565.622	1217.66	kg-f/cm
Rigidez inicial	K_i	1393.55	8167.2	kg-f/cm
Rigidez de postfluencia	K_p	466.093	816.72	kg-f/cm
Fuerza de fluencia	F_y	2452.65	7306.18	kg-f
Relación K_p/K_i	r	0.334	0.10	
Amortiguamiento efectivo	C	36.474	153.087	kg-f*s/cm
Energía disipada	W_D	95592.2	407842.0	kg-f*cm
Desplazamiento de fluencia	D_y	1.76	0.894	cm

12.7. Diseño del sistema de aislamiento con AISLAND
V1.0

1. Caso 1:Diseño del aislamiento basal con aisladores HDR.

Para el caso 1 se muestra el proceso de diseño del aislador tipo HDR en las figuras:12.7,12.8,12.9,12.10,12.11 y 12.12.

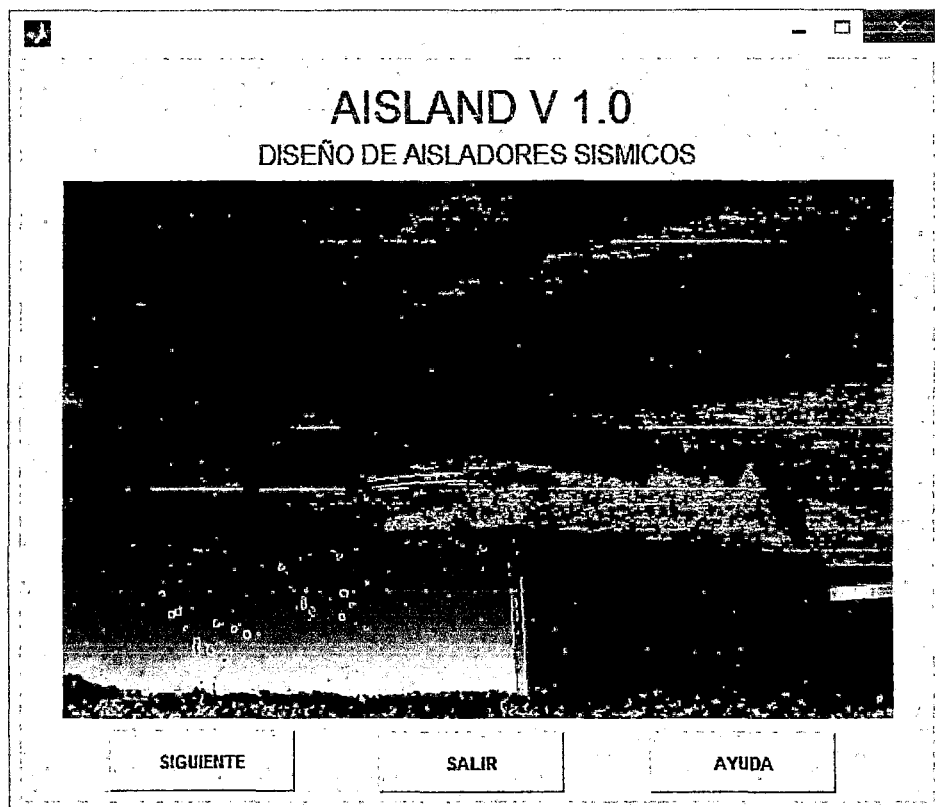


Figura 12.7. Caso HDR: Ingreso al programa.

2. Caso 2: Diseño del aislamiento basal con aisladores LRB.

Para el caso 2 se muestra el proceso de diseño del aislador tipo LRB en las figuras: 12.13, 12.14, 12.15, 12.16, 12.17, 12.18

3. Caso 3: Diseño la combinación de dos tipos de aisladores HDR.

Para el caso 3 se muestra el proceso de diseño de la combinación de los aisladores tipo HDR1 y HDR2 en las figuras: 12.19, 12.20, 12.21, 12.22, 12.23, 12.24, 12.25, 12.26, 12.27, 12.28, 12.29 y 12.30.

Figura 12.8. Caso HDR: Datos iniciales.

Figura 12.9. Caso HDR: Diseño del aislador.

AISLAND: DISEÑO DE AISLADORES TIPO HDR							
DATOS Carga vertical maxima (Pmax) 264839.91 Kg-f Carga vertical minima (Pmin) 38133.45 Kg-f % Deformacion de corte directa maxima 200 % % Deformacion de corte maximo admisible 250 % Diametro de seccion anular (di) 0 cm Tipo de conexion Fija (pernos) Tension admisible de compresion (Tac) 80 Kg-f/cm2 Esfuerzo de fluencia del acero 2400 Kg-f/cm2 Modulo de compresibilidad de goma 20000 Kg-f/cm2 Aceleracion de la gravedad 981 cm/s2 ACEPTAR BORRAR SALIR PROPIEDADES HISTERESIS		R. 02: Calculo de la rigidez horizontal Rigidez horizontal total (Kht) 29017.8 Kg-f/cm Rigidez horizontal aislador (Kh) 784.265 Kg-f/cm R. 03: Area y diametro del aislador Area del aislador (A) 3310.5 cm2 Diametro del aislador (De) 64.9234 cm Dato: Diametro asumido (De) 65 cm Area final de aislador (Af) 3318.32 cm2 ACEPTAR R. 04: Espesor de goma Espesor total de goma (Hr) 9.2253 cm Dato: Espesor de capa de goma (tr) 0.8 cm ACEPTAR # capas de goma 11.5316 capas Dato: # capas de goma asumido 20 capas Espesor total de goma final (Hr) 16 cm ACEPTAR R.05:Modulo de corte y Factor de forma Modulo de corte (G) 3.78151 kg-f/cm2 Factor de forma (S) 20.3125 Modulo de corte comercial (G) 3.80 kg-f/cm2		R. 06: Capa de acero Dato: Espesor de capa de acero (ts) 0.3 cm ACEPTAR Tension maxima de traccion en placas (Tmax) 320 kg-f/cm2 Tension admisible de traccion en placas (Tadm) 1800 kg-f/cm2 Tmax < Tadm R.07:Altura total del aislador H goma+ laminas de acero 21.7 cm H placa interior de acero 2.5 cm H placa exterior de acero 3.2 cm 1 1/4" Htotal= H goma+ laminas de acero + placa int sup e inf + placa ext sup e inf 33.1 cm ACEPTAR R.08:Rigidez y frecuencia vertical Modulo de compresion acero + goma (Ec) 5781.42 kg-f/cm2 Rigidez vertical (Kv) 1.19904e+06 kg-f/cm Frecuencia vertical (fv) 24.8828 Hz Cumple Kv > 1000*Kh Cumple fv > 10Hz R.09:Verificacion del periodo objetivo Rigides horizontal (Kh) 788.1 kg-f/cm Perido objetivo (Td) 1.99513 seg El Td verificado esta proximo al Td objetivo		R. 10: Deformacion angular maxima Valor Eo 35 Valor K 0.7 Factor de seguridad 1.5 Deformacion angular por corte 1.15316 grados Deformacion angular por compresion 0.481427 grados Deformacion angular maxima 1.63459 grados Deformacion angular maxima admisible 3.11667 grados Cumple, Def ang. maxima < Def ang. admisible ACEPTAR R.11:Verificacion al pandeo Carga critica (Pcrit) 769498 kg-f Pcrit/Pmax 2.90552 Factor de seguridad (F.S) 2 Cumple la cond. de pandeo R.12:Verificacion al volcamiento Desplazamiento maximo (Dmax) 44.9426 cm Dmax/DD 2.43583 Factor de seguridad (F.S.) 1 Cumple verif. al volteo	

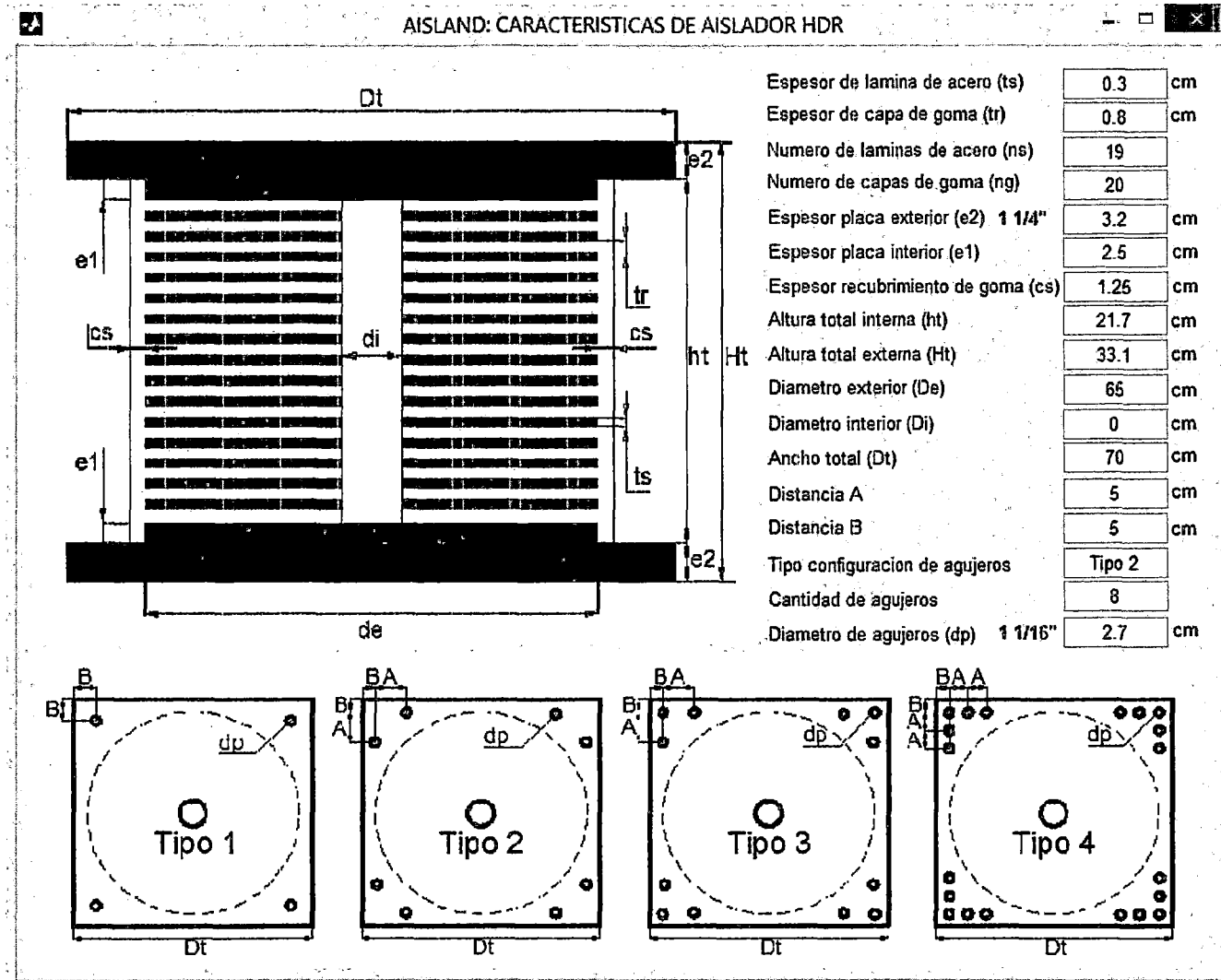


Figura 12.10. Caso HDR: Dimensiones geométricas del aislador.

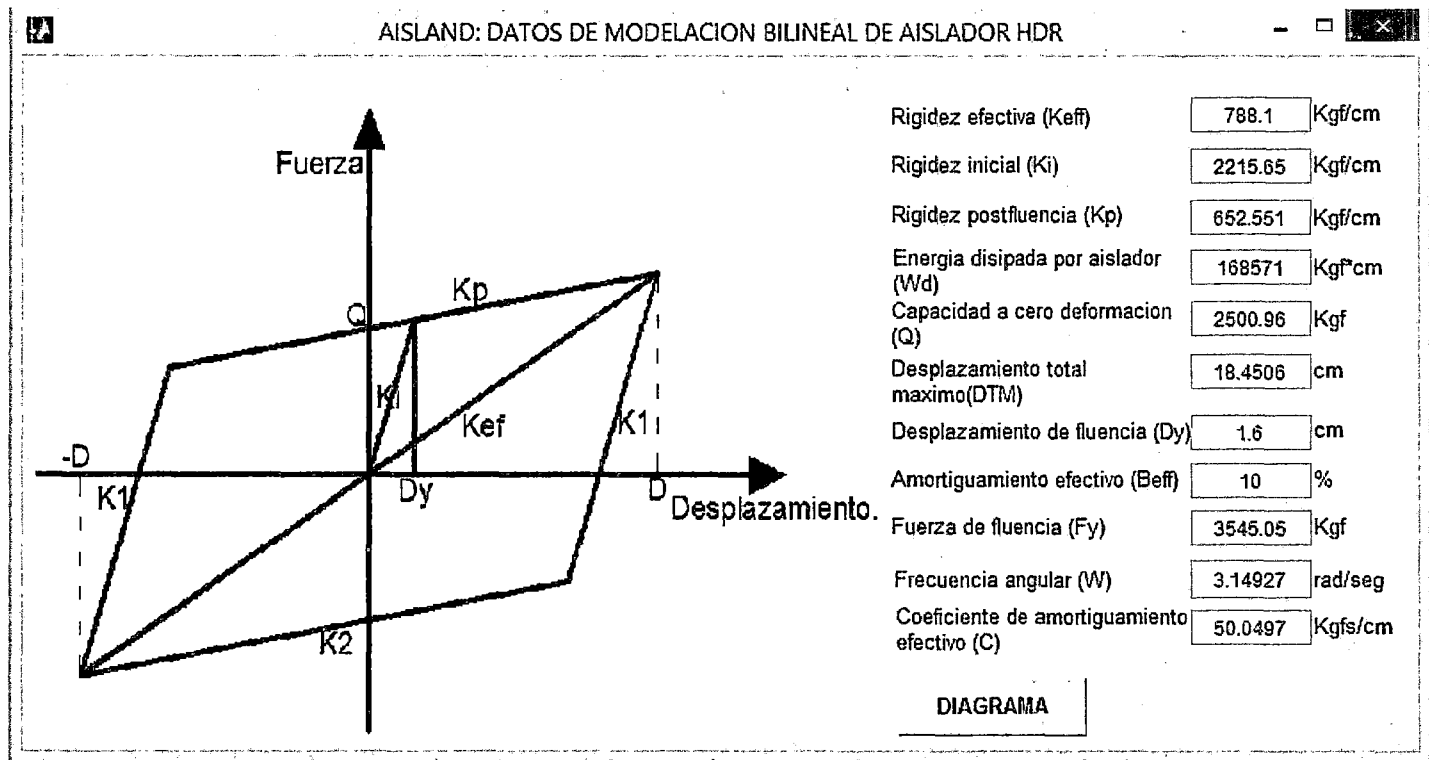


Figura 12.11. Caso HDR: Parámetros para la modelación bilineal del aislador.

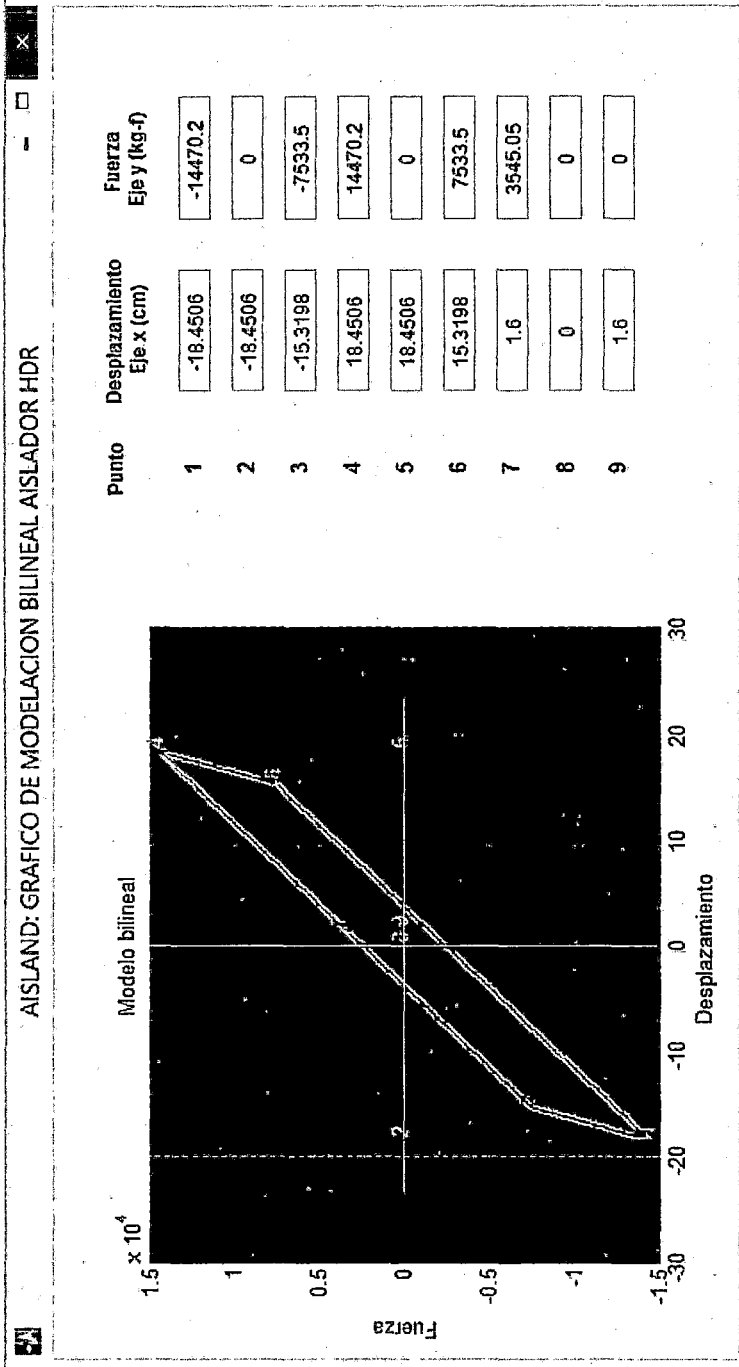


Figura 12.12. Caso HDR: Gráfico de la modelación bilineal del aislador.

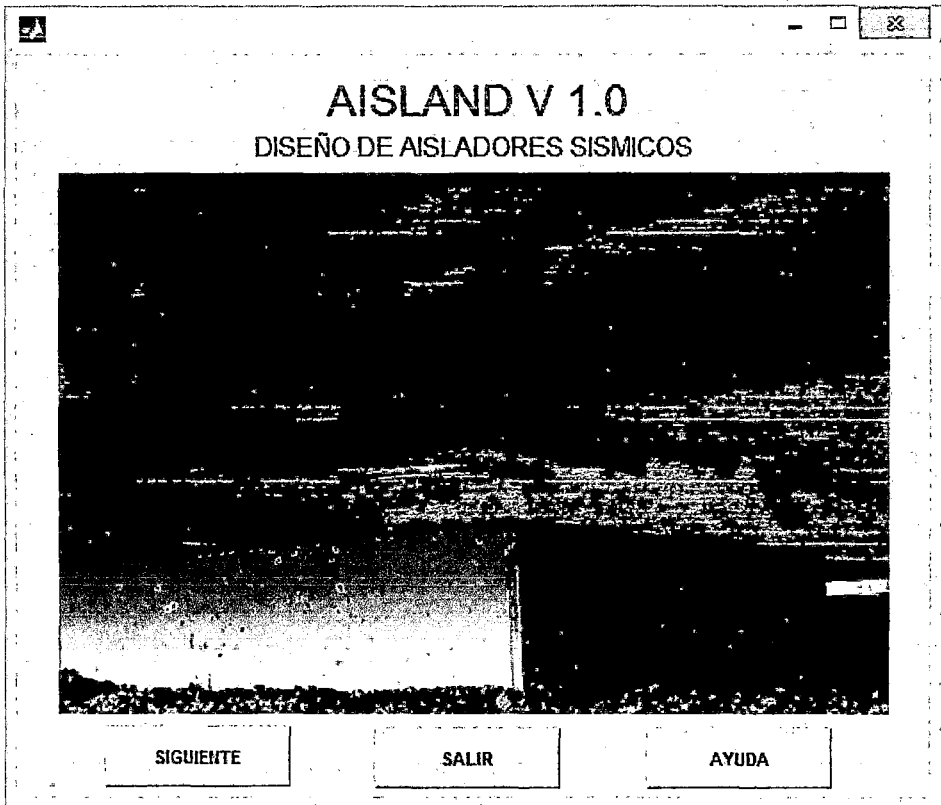


Figura 12.13. Caso LRB: Ingreso al programa.

AISLAND: DATOS INICIALES

1. PARAMETROS SISMICOS DE DISEÑO

Zona Sismica (Z) ▼

Tipo de suelo (S) ▼

Categoría de la edificación (U)

Periodo objetivo (Td) Seg

Factor de amplificación sismica (C)

Parametros

3. PROPIEDADES DEL SISTEMA

Tipo de diseño ▼

Tipo de desplazamiento para diseño ▼

Numero total de aisladores (N) Und

Peso total de la estructura (W) Kg-f

Aceleración de la gravedad (g) cm/s²

2. RESULTADOS PRELIMINARES

Factor de zona para SD1 (ZSD1)

Factor de zona para SM1 (ZSM1)

Factor por tipo de suelo (S)

Periodo por tipo de suelo (tp) Seg

Aceleración espectral de diseño (SD1)

Aceleración espectral máxima (SM1)

4. CANTIDADES Y DISEÑO FINAL

Tipo	Aislador	Cantidad	% Amort.	% Rigidez
1	LRB	37	20	100
2	HDR/LDR	25	10	50

Automat...

Datos preliminares

Propiedades del sistema

Diseño Aislador 1 Diseño Aislador 2

BORRAR

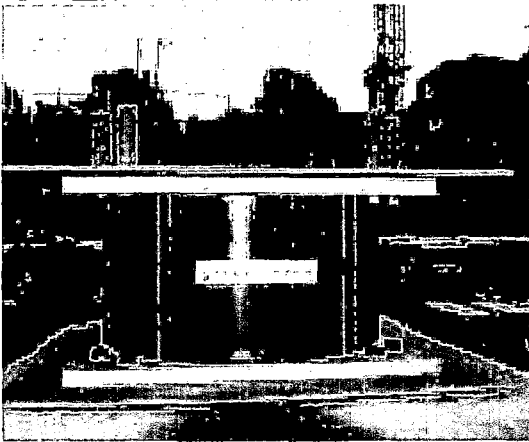
SALIR

AYUDA

(HDR) Aislador Elastomerico de Alto Amortiguamiento ▲

(LRB) Aislador Elastomerico con Nucleo de Plomo

(LDR) Aislador Elastomerico de Bajo Amortiguamiento ▼



Apoyos elastoméricos laminados, intercalando un conjunto de láminas de goma con delgadas placas de acero unidas por un proceso de vulcanización. La goma que además de entregar la flexibilidad y rigidez requerida, se diferencia de los elastómeros comunes por que posee como propiedad natural un alto amortiguamiento, logrado a través de agregar sustancias químicas al compuesto B=10 a 20%

Figura 12.14. Caso LRB: Datos iniciales.

AISLAND: DISEÑO DE AISLADOR TIPO LRB			
DATOS Carga vertical maxima (Pmax) 264839.91 Kg-f Carga vertical minima (Pmin) 38133.45 Kg-f % Deformacion de corte directa maxima 200 % % Deformacion de corte maximo admisible 250 % Tipo de conexion Fija (pernos) Tension acimible de compresion (Tac) 80 Kg-f/cm2 Esfuerzo de fluencia del 2400 Kg-f/cm2 Modulo de compresibilidad de goma 20000 Kg-f/cm2 Modulo de compresibilidad del plomo 140000 Kg-f/cm2 Tension de fluencia del plomo 100 kg/cm2 Aceleracion de la gravedad 981 cm/s2 Factor de amplificacion de rigidez inicial N=K _i /K _{pf} 10 ACEPTAR BORRAR SALIR		R. 03: Capac. de aislador a def. cero y diam. interno Diametro de plomo calculado (dp) 7.00132 cm Diametro de plomo asumido (Dpf) 7.0 cm Area del nucleo de plomo (Ap) 38.4846 cm2 Capacidad a def. cero final (Qi) 3848.46 Kg-f ACEPTAR	
R.01:Desplazamiento de diseño y maximo Cf. reduc amortiguamiento (Bd) 1.5 cm Desplazamiento de diseño (DD) 8.94574 cm Desplazamiento maximo (DM) 13.4186 cm Desplazamiento total de diseño (DTD) 9.84032 cm Desplazamiento total maximo (DTM) 14.7605 cm		R. 04: Area y diametro del aislador Area del aislador (A) 3310.5 cm2 Diametro del aislador (De) 65.2997 cm Dato: Diametro asumido (De) 70 cm Area final de aislador (Af) 3809.98 cm2 ACEPTAR	
R. 02: Calculo de la rigidez horizontal Rigidez horizontal total (Kht) 29017.8 Kg-f/cm Rigidez horizontal aislador (Kh) 784.265 Kg-f/cm		R. 05: Espesor de goma Espesor total de goma (Hr) 7.38024 cm Espesor de capa de goma (tr) 0.8 cm ACEPTAR	
R.06:Modulo de corte y Factor de forma Modulo de corte (G) 1.97874 kg-f/cm2 Factor de forma (S) 21.6563 Modulo de corte comercial kg-f/cm2 2.0		R. 07:Capa de acero Espesor de capa de acero (ts) 0.3 cm ACEPTAR	
		R. 07: Capa de acero Tension maxima de traccion en placas (Tmax) 320 kg-f/cm2 Tension admisible de traccion en placas (Tadm) 1800 kg-f/cm2 Cumple Tmax<Tadm	
		R.08:Altura total del aislador H goma+ laminas de acero 19.5 cm H placa exterior de acero Sup e Inf 3.2 cm 1 1/4" H placa interior de acero Sup e Inf 2.5 cm Htotal= H goma+ laminas de acero + placa sup e inf 30.9 cm ACEPTAR	
		R.09:Rig. postfluencia ,Rigidez inicial y Rigidez efectiva Rigidez postfluencia (Kp) 529.163 kg-f/cm Rigidez efectiva (Keff) 790.108 kg-f/cm Rigidez inicial (Ki) 5291.63 Kg-f/cm	
		R.10:Desplazamiento de fluencia y fuerza de fluencia Desplazamiento de fluencia (Dy) 0.808081 cm Fuerza de fluencia (Fy) 4276.07 kg-f Energia disipada (Wd) 214592 kg-f Amortiguamiento efectivo final (B) 19.8631 % Coeficiente de amortiguamiento final (Bd) 1.49589 Fuerza característica del plomo (Q) 3848.46 kg-f	
		R.11:Propiedades finales del sistema Periodo real del sistema (Td) 1.99287 seg Desplazamiento total maximo final (DTM) 14.7482 cm Def. a corte de diseño final (Dcd) 1.02418	
		R.12:Rigidez y frecuencia vertical Modulo de compresion acero + goma (Ec) 3550.3 kg-f/cm2 Rigidez vertical (Kv) 1.21564e+06 kg-f/cm Frecuencia vertical (fv) 26.6239 Hz Cumple fv > 10Hz	
		R. 13: Deformacion angular maxima Valor Eo 35 Valor K 0.7 Factor de seguridad 1.5 Deformacion angular por corte 1.02418 grados Deformacion angular por compresion 0.451649 grados Deformacion angular maxima 1.47583 grados Deformacion angular maxima admisible 3.11667 grados Cumple,Def ang. maxima < Def ang.admisible ACEPTAR	
		R.14:Verificacion al pandeo Carga critica (Pcrit) 608030 kg-f Pcrit/Pmax 2.28929 Factor de seguridad (F.S) 2 Cumple la cond. de pandeo:Pcrit/Pmax > F.S.	
		R.15:Verificacion al volcamiento Desplazamiento maximo (Dmax) 49.8604 cm Dmax/DTM 3.38078 Factor de seguridad (F.S.) 1 Cumple verif. al volteo:Dmax/DTM > F.S.	

Figura 12.15. Caso:LRB Diseño del aislador.

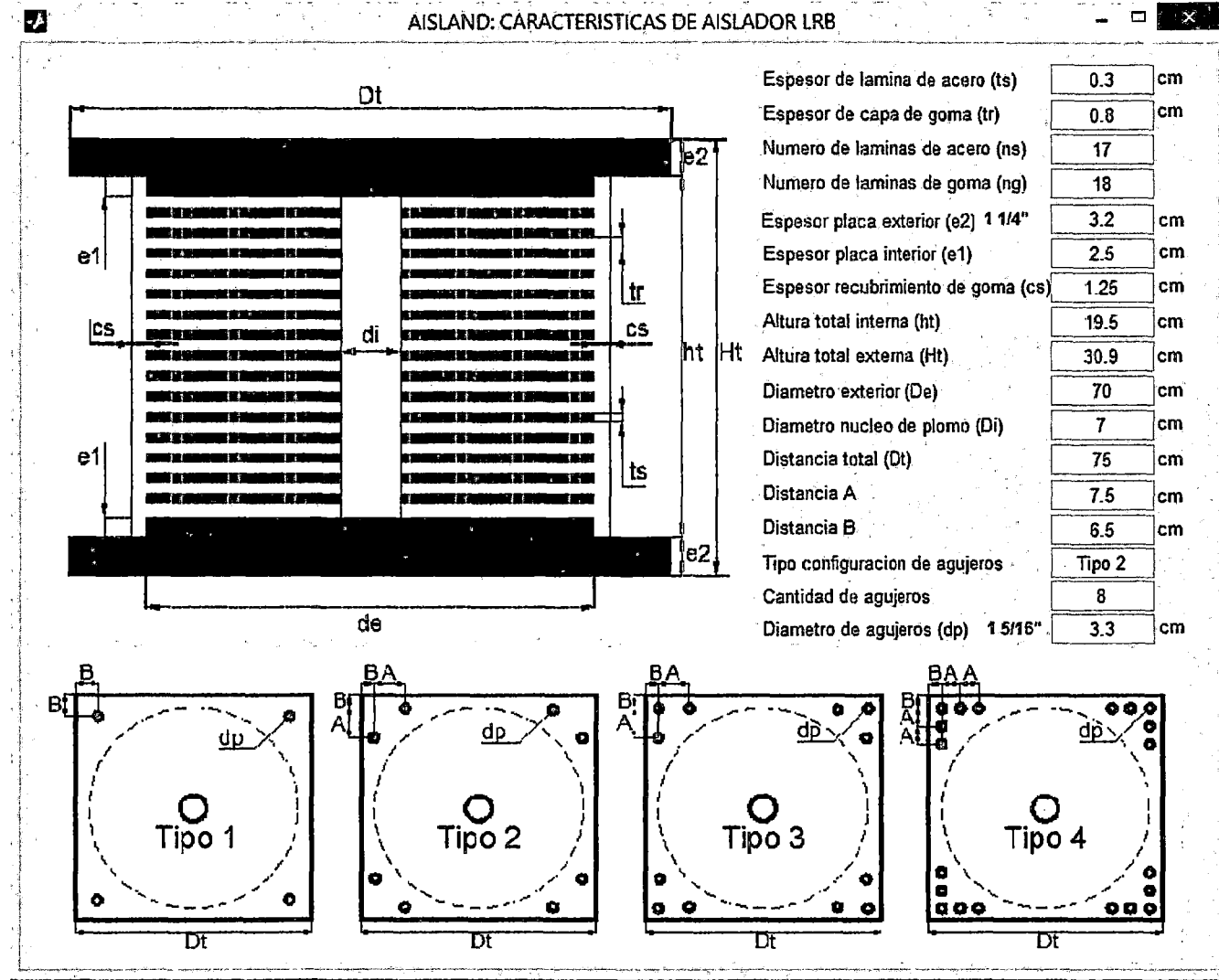


Figura 12.16. Caso LRB: Dimensiones geométricas del aislador.

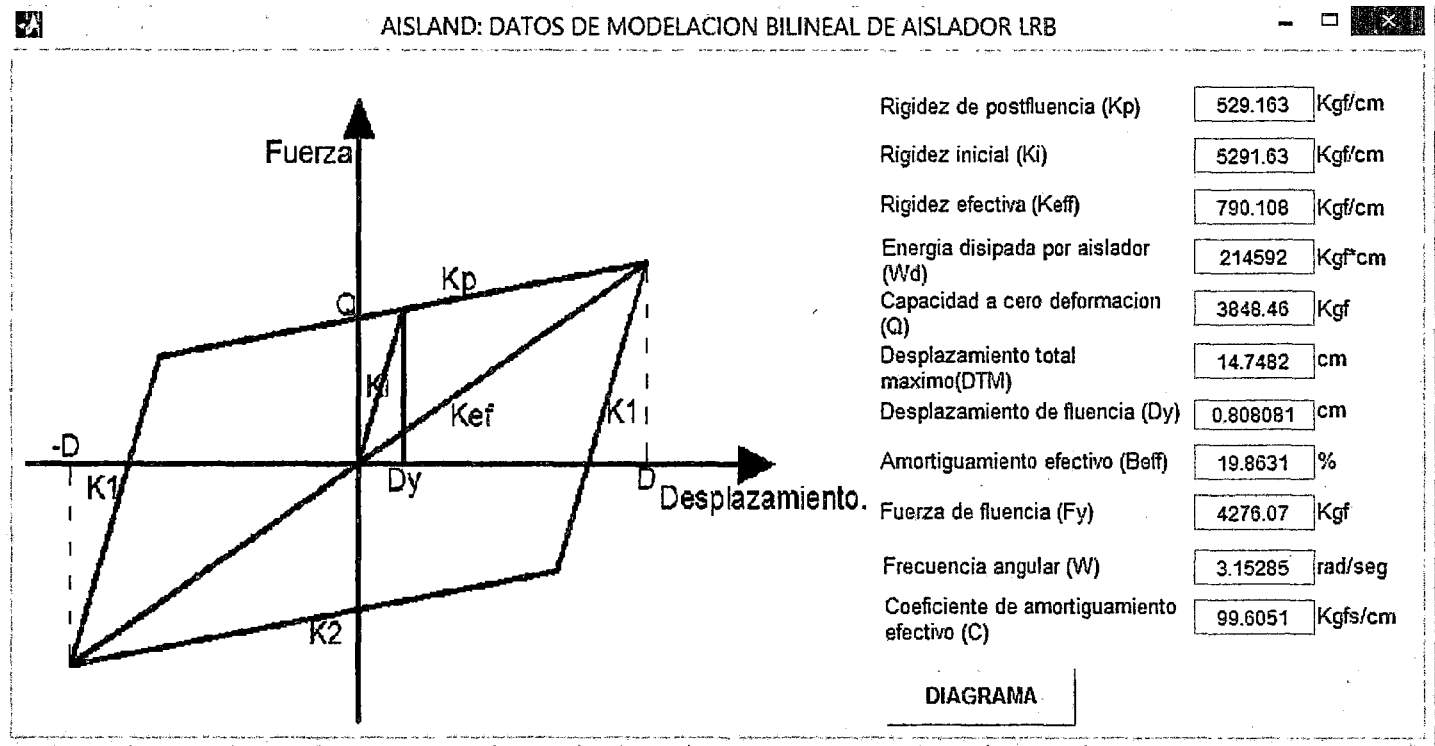


Figura 12.17. Caso LRB: Parametros para la modelación bilineal del aislador.

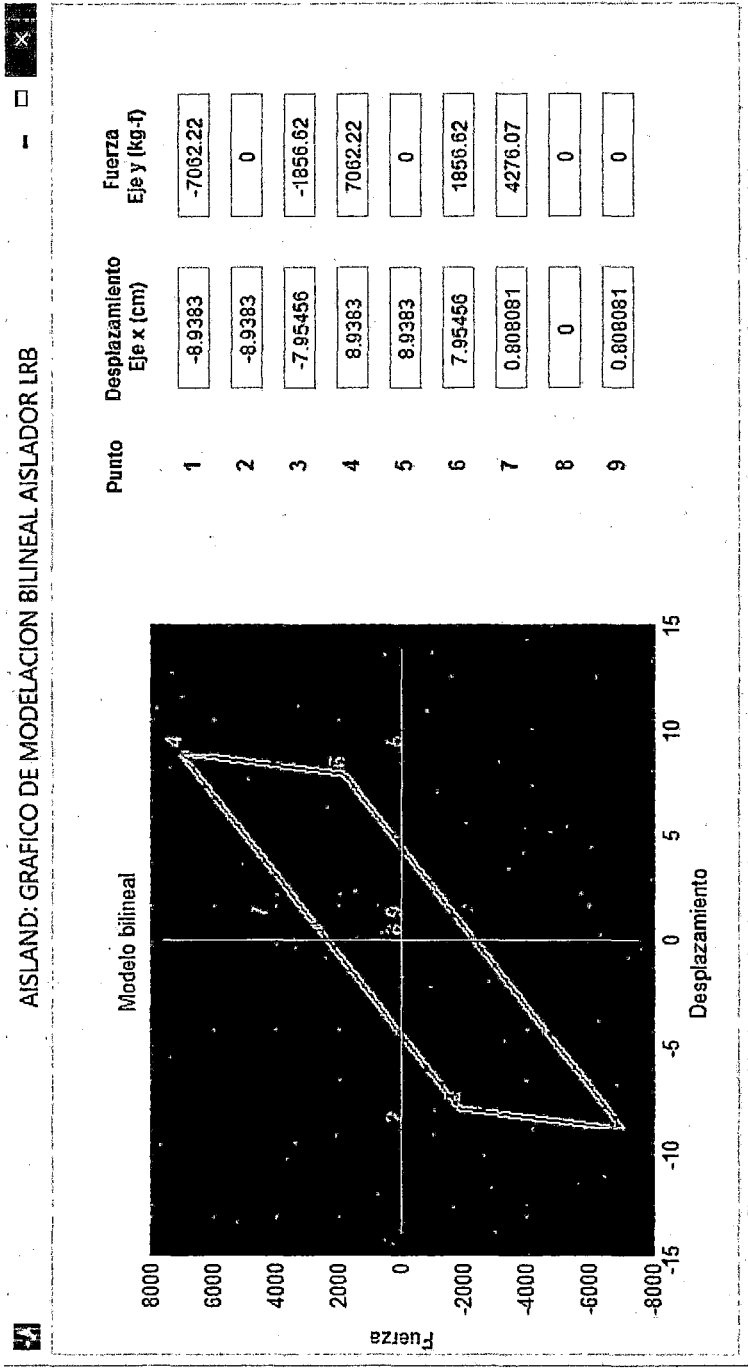


Figura 12.18. Caso LRB: Gráfico de la modelación bilineal del aislador.

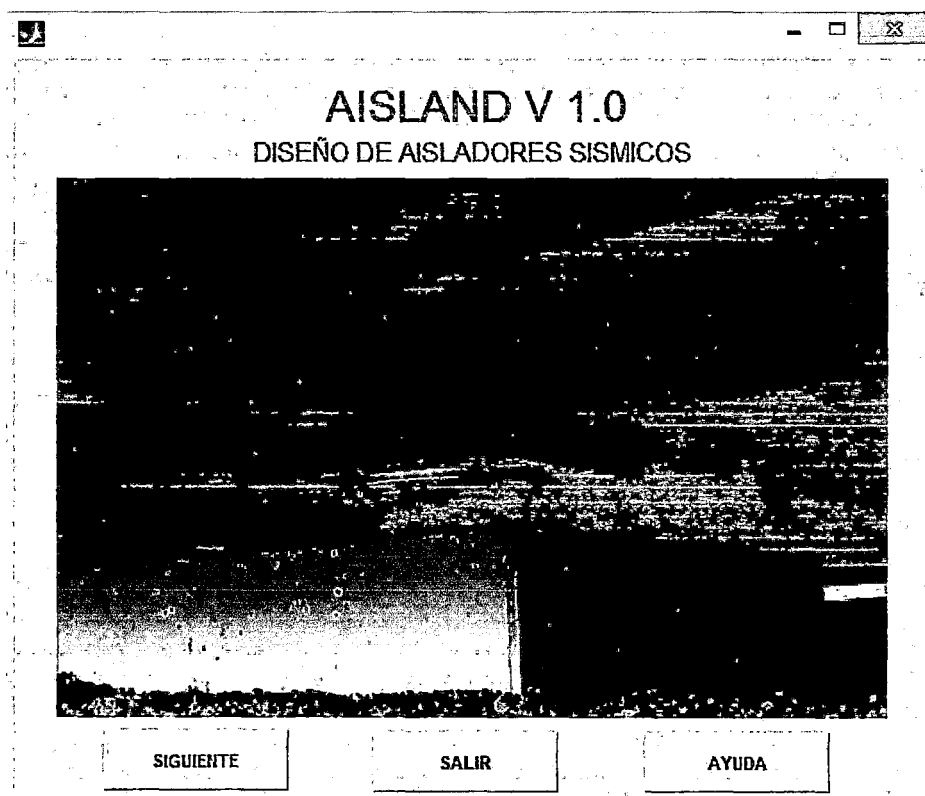


Figura 12.19. Caso HDR1+HDR2:Ingreso al programa.

Figura 12.20. Caso HDR1+HDR2:Datos iniciales.

AISLAND: DISEÑO PRELIMINAR

Archivo

Edicion

Ayuda

DATOS

Datos generales

Carga vertical maxima (Pmax)

264839.91

Kg-f

Carga vertical minima (Pmin)

38133.45

Kg-f

Aceleracion de la gravedad

981

cm/s2

Tipo de conexion

Fija (pernos)

Esfuerzo de fluencia del acero

2400

Kg-f/cm2

% Deformacion de corte directa maxima

200

%

Datos aislador tipo HDR (1)

% Deformacion de corte maximo admisible

250

%

Diametro de seccion anular (di)

0

cm

Tension admisible de compresion (Tac)

80

Kg-f/cm2

Modulo de compresibilidad de goma

20000

Kg-f/cm2

Datos aislador tipo HDR(2)

% Deformacion de corte maximo admisible

250

%

Diametro de seccion anular (di)

0

Kg-f/cm2

Tension admisible de compresion (Tac)

80

Kg-f/cm2

Modulo de compresibilidad de goma

20000

Kg-f/cm2

ACEPTAR

BORRAR

SALIR

Figura 12.21. Caso HDR1+HDR2:Datos preliminares generales y para cada tipo de aislador.

RESULPREV

PROPIEDADES GENERALES DEL SISTEMA

Rigidez compuesta (Kcomp)	29017.8	Kgf/cm	Desplazamiento de diseño (Dd)	10.3435	cm
Amortiguamiento promedio (Bprom)	13.2432	%	Desplazamiento maximo (Dm)	15.5153	cm
Periodo de diseño (Td)	2	Seg	Desplazamiento total de diseño (Dtd)	11.3779	cm
Rigidez total aisladores tipo 1 (KT1)	9411.17	Kgf/cm	Desplazamiento total maximo (Dtm)	17.0668	cm
Rigidez total aisladores tipo 2 (KT2)	19606.6	Kgf/cm			
Rigidez individual aislador tipo 1 (KI1)	784.265	Kgf/cm			
Rigidez individual aislador tipo 2 (KI2)	784.266	Kgf/cm			

ACEPTAR

SALIR

Figura 12.22. Caso HDR1+HDR2:Resultados de las propiedades generales del sistema aislado.

Figura 12.23. Caso HDR1+HDR2: Ventana de diseño del aislador tipo HDR1.

AISLAND: DISEÑO DE AISLADORES TIPO HDR(1)

DATOS		R. 02: Calculo de la rigidez horizontal		R. 06: Capa de acero		R. 10: Deformacion angular maxima	
Carga vertical maxima (Pmax)	264840 Kg-f	Rigidez horizontal total (Kht)	9411.17 Kg-f/cm	Dato:		Valor Eo	35
Carga vertical minima (Pmin)	38133.4 Kg-f	Rigidez horizontal aislador (Kh)	784.265 Kg-f/cm	Espesor de capa de acero (ts)	0.3 cm	Valor K	0.7
% Deformacion de corte directa maxima	200 %				ACEPTAR	Factor de seguridad	1.5
% Deformacion de corte maximo admisible	250 %	R. 03: Area y diametro del aislador		Tension maxima de traccion en placas (Tmax)	320 kg-f/cm2	Deformacion angular por corte	1.06667 grados
Diametro de seccion anular (di)	0 cm	Area del aislador (A)	3310.5 cm2	Tension admisible de traccion en placas (Tadm)	1800 kg-f/cm2	Deformacion angular por compresion	0.481427 grados
Tipo de conexlon	Fija (pernos)	Diametro del aislador (De)	64.9234 cm	Tmax<Tadm		Deformacion angular maxima	1.5481 grados
Tension admisible de compresion (Tac)	80 Kg-f/cm2	Dato:				Deformacion angular maxima admisible	3.11667 grados
Esfuerzo de fluencia del acero	2400 Kg-f/cm2	Diametro asumido (De)	65 cm	R.07:Altura total del aislador		Cumple,Def ang. maxima < Def ang.admisible	
Modulo de compresibilidad de goma	20000 Kg-f/cm2	Area final de aislador (Af)	3318.32 cm2	H goma+ laminas de acero	21.7 cm		ACEPTAR
ACEPTAR			ACEPTAR	H placa interior de acero sup e inf	2.5 cm		
BORRAR		R. 04: Espesor de goma		H placa exterior de acero sup e inf	3.2 cm 1 1/4"		
SALIR		Espesor total de goma (Hr)	8.5334 cm	Htotal= H goma+ laminas de acero + placa int sup e inf + placa ext sup e inf	33.1 cm		
PROPIEDADES		Dato:			ACEPTAR		
HISTERESIS		Espesor de capa de goma (tr)	0.8 cm	R.08:Rigidez y frecuencia vertical		R.11:Verificacion al pandeo	
			ACEPTAR	Modulo de compresion acero + goma (Ec)	5781.42 kg-f/cm2	Carga critica (Pcrit)	769498 kg-f
		# capas de goma	10.6667 capas	Rigidez vertical (Kv)	1.19904e+06 kg-f/cm	Pcrit/Pmax	2.90562
		Dato:		Frecuencia vertical (fv)	24.8828 Hz	Factor de seguridad (F.S)	2
		# capas de goma asumido	20 capas	Cumple Kv > 1000*Kh		Cumple la cond. de pandeo	
		Espesor total de goma final (Hr)	16 cm	Cumple fv > 10Hz			
			ACEPTAR	R.09:Verificacion del periodo objetivo		R.12:Verificacion al volcamiento	
R.01:Desplazamiento de diseño y maximo		R.05:Modulo de corte y Factor de forma		Ríglides horizontal (Kh)	788.1 kg-f/cm	Desplazamiento maximo (Dmax)	44.9426 cm
Cf. reduc amortiguamiento (Bd)	1.2973	Modulo de corte (G)	3.78151 kg-f/cm2	Perido objetivo (Td)	1.99513 seg	Dmax/DD	2.63333
Desplazamiento de diseño (DD)	10.3435 cm	Factor de forma (S)	20.3125	El Td verificado esta proximo al Td objetivo		Factor de seguridad (F.S.)	1
Desplazamiento maximo (DM)	15.5153 cm	Modulo de corte comercial (G)	3.80 kg-f/cm2			Cumple verif. al volteo	
Desplazamiento total de diseño (DTD)	11.3779 cm						
Desplazamiento total maximo (DTM)	17.0668 cm						

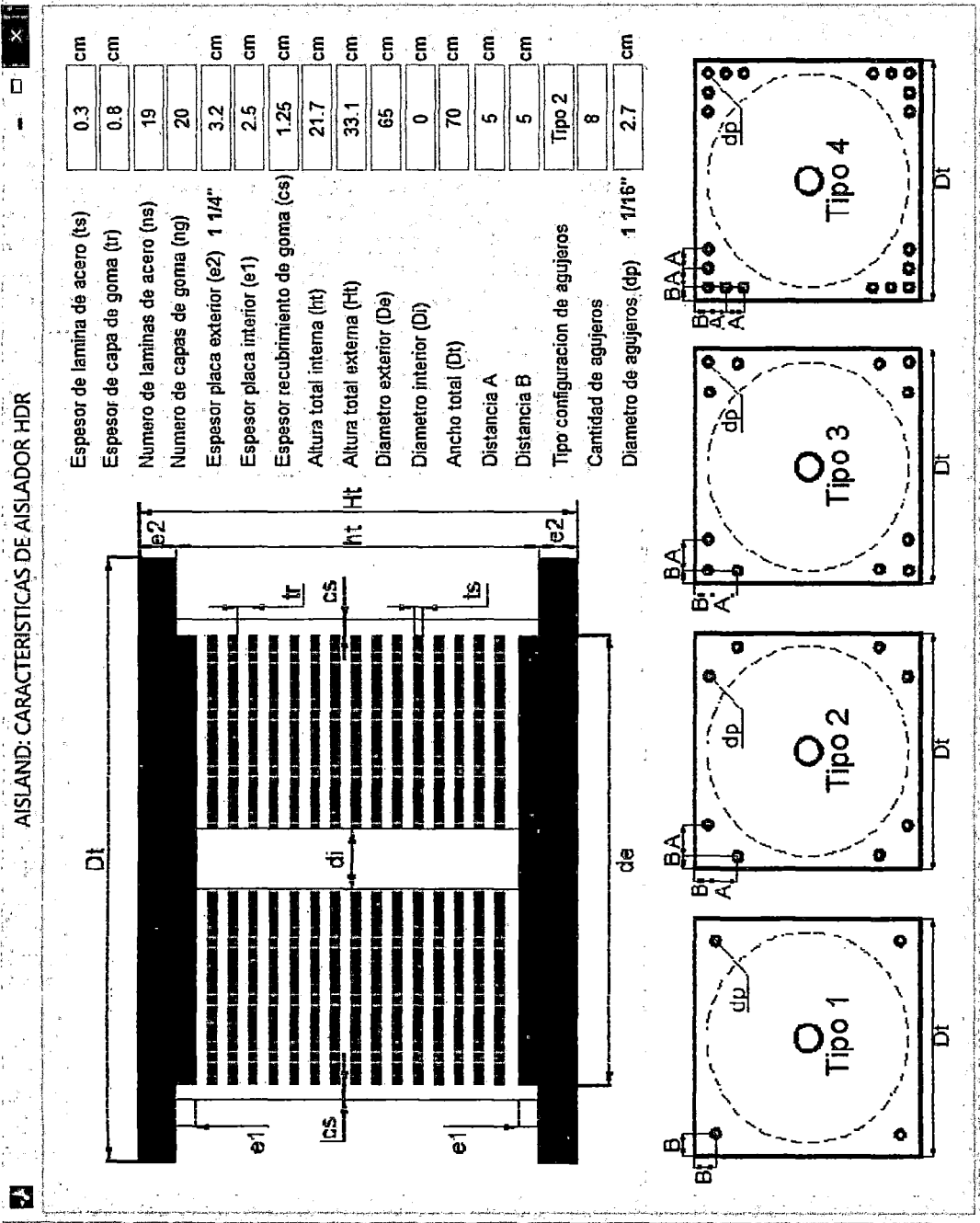


Figura 12.24. Caso HDR1+HDR2:Dimensiones geométricas del aislador diseñado HDR1.

4. *Caso 4:Diseño de aislamiento basal con aislador HDR en combinación con LRB.*

Para el caso 4 se muestra el proceso de diseño de la combinación de los aisladores tipo HDR y LRB en las figuras:12.31,12.32,12.33,12.34,12.35,12.36,12.37,12.38, 12.39,12.40,12.41 y 12.42.

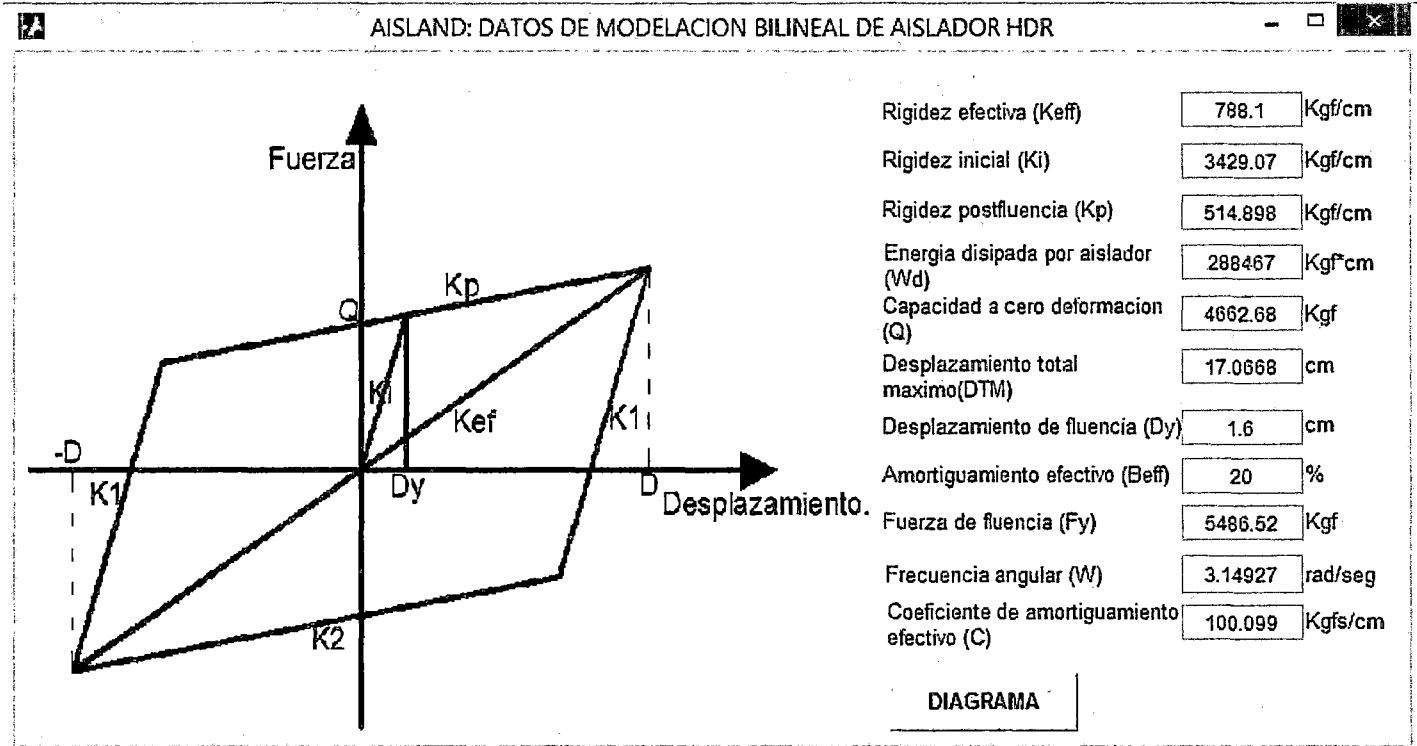


Figura 12.25. Caso HDR1+HDR2: Parámetros para la modelación bilineal del aislador HDR1.

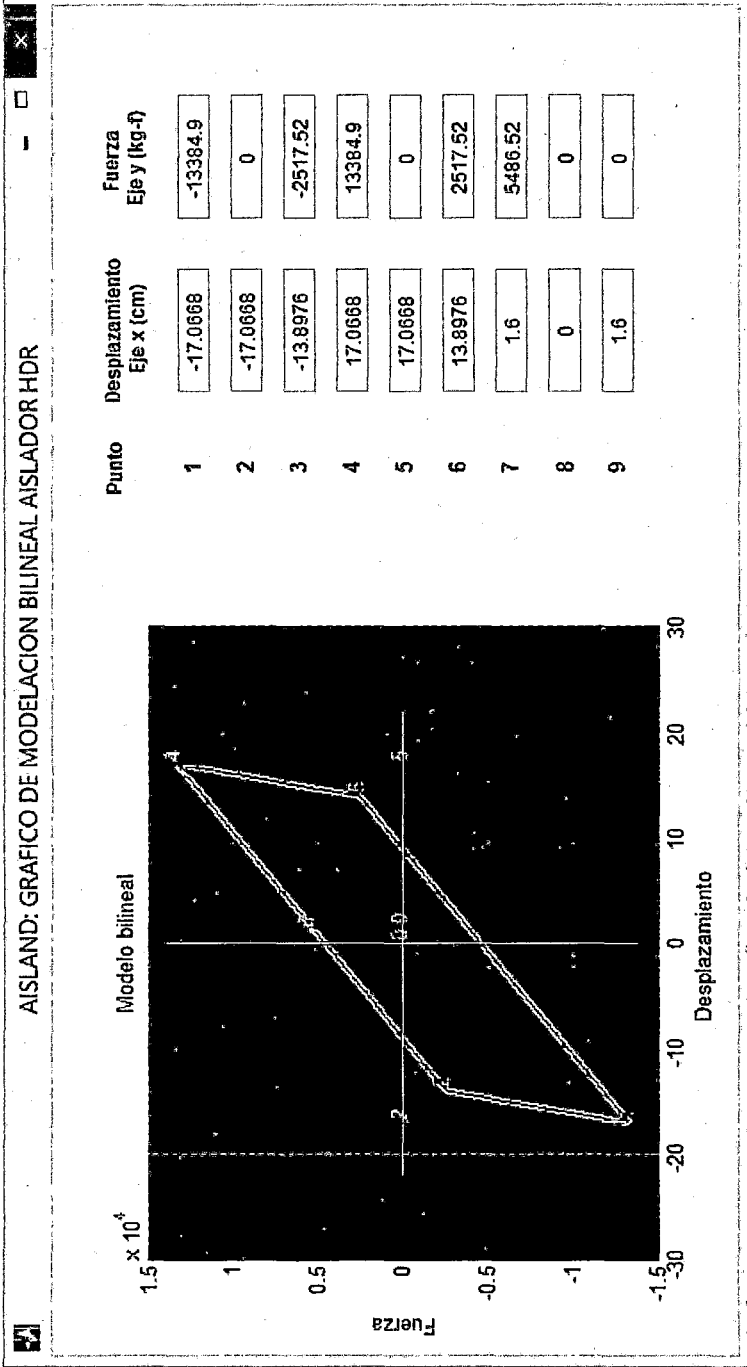


Figura 12.26. Caso HDR1+HDR2:Gráfico de la modelación bilineal del aislador HDR1.

Figura 12.27. Caso HDR1+HDR2: Ventana de diseño del aislador tipo HDR2.

AISSAND: DISEÑO DE AISLADORES TIPO HDR(2)

DATOS Carga vertical maxima (Pmax) 264840 Kg-f Carga vertical minima (Pmin) 38133.4 Kg-f % Deformacion de corte directa maxima 200 % % Deformacion de corte maximo admisible 250 % Diametro de seccion anular (di) 0 cm Tipo de conexion Fija (pernos) Tension admisible de compresion (T _{ac}) 80 Kg-f/cm ² Esfuerzo de fluencia del acero 2400 Kg-f/cm ² Modulo de compresibilidad de goma 20000 Kg-f/cm ² Aceleracion de la gravedad 981 cm/s ² ACEPTAR BORRAR SALIR PROPIEDADES HISTERESIS	R. 02: Calculo de la rigidez horizontal Rigidez horizontal total (K _{ht}) 19606.6 Kg-f/cm Rigidez horizontal aislador (K _h) 784.266 Kg-f/cm	R. 06: Capa de acero Dato: Espesor de capa de acero (t _s) 0.3 cm ACEPTAR Tension maxima de traccion en placas (T _{max}) 320 kg-f/cm ² Tension admisible de traccion en placas (T _{adm}) 1800 kg-f/cm ² T _{max} < T _{adm}	R. 10: Deformacion angular maxima Valor E _o 35 Valor K 0.7 Factor de seguridad 1.5 Deformacion angular por corte 1.06667 grados Deformacion angular por compresion 0.481427 grados Deformacion angular maxima 1.5481 grados Deformacion angular maxima admisible 3.11667 grados Cumple, Def ang. maxima < Def ang. admisible ACEPTAR
R. 01: Desplazamiento de diseño y maximo Cf. reduc amortiguamiento (Bd) 1.2973 Desplazamiento de diseño (DD) 10.3435 cm Desplazamiento maximo (DM) 15.5153 cm Desplazamiento total de diseño (DTD) 11.3779 cm Desplazamiento total maximo (DTM) 17.0668 cm	R. 03: Area y diametro del aislador Area del aislador (A) 3310.5 cm ² Diametro del aislador (D _e) 64.9234 cm Dato: Diametro asumido (D _e) 65 cm Area final de aislador (A _f) 3318.32 cm ² ACEPTAR	R. 07: Altura total del aislador H goma+ laminas de acero 21.7 cm H placa interior de acero sup e inf 2.5 cm H placa exterior de acero sup e inf 3.2 cm 1 1/4" H total= H goma+ laminas de acero + placa sup e inf 33.1 cm ACEPTAR	R. 11: Verificacion al pandeo Carga critica (P _{crit}) 769498 kg-f P _{crit} /P _{max} 2.90552 Factor de seguridad (F.S.) 2 Cumple la cond. de pandeo
R. 04: Espesor de goma Espesor total de goma (H _r) 8.5334 cm Dato: Espesor de capa de goma (t _r) 0.8 cm ACEPTAR # capas de goma 10.6667 capas Dato: # capas de goma asumido 20 capas Espesor total de goma final (H _r) 16 cm ACEPTAR	R. 08: Rigidez y frecuencia vertical Modulo de compresion acero + goma (E _c) 5781.42 kg-f/cm ² Rigidez vertical (K _v) 1.19904e+06 kg-f/cm Frecuencia vertical (f _v) 24.8828 Hz Cumple K _v > 1000*K _h Cumple f _v > 10Hz	R. 12: Verificacion al volcamiento Desplazamiento maximo (D _{max}) 44.9426 cm D _{max} /DD 2.63333 Factor de seguridad (F.S.) 1 Cumple verif. al volteo	
R. 05: Modulo de corte y Factor de forma Modulo de corte (G) 3.78151 kg-f/cm ² Factor de forma (S) 20.3125 Modulo de corte comercial (G) 3.80 kg-f/cm ²	R. 09: Verificacion del periodo objetivo Rigidez horizontal (K _h) 788.1 kg-f/cm Periodo objetivo (T _d) 1.99513 seg El T _d verificado esta proximo al T _d objetivo		

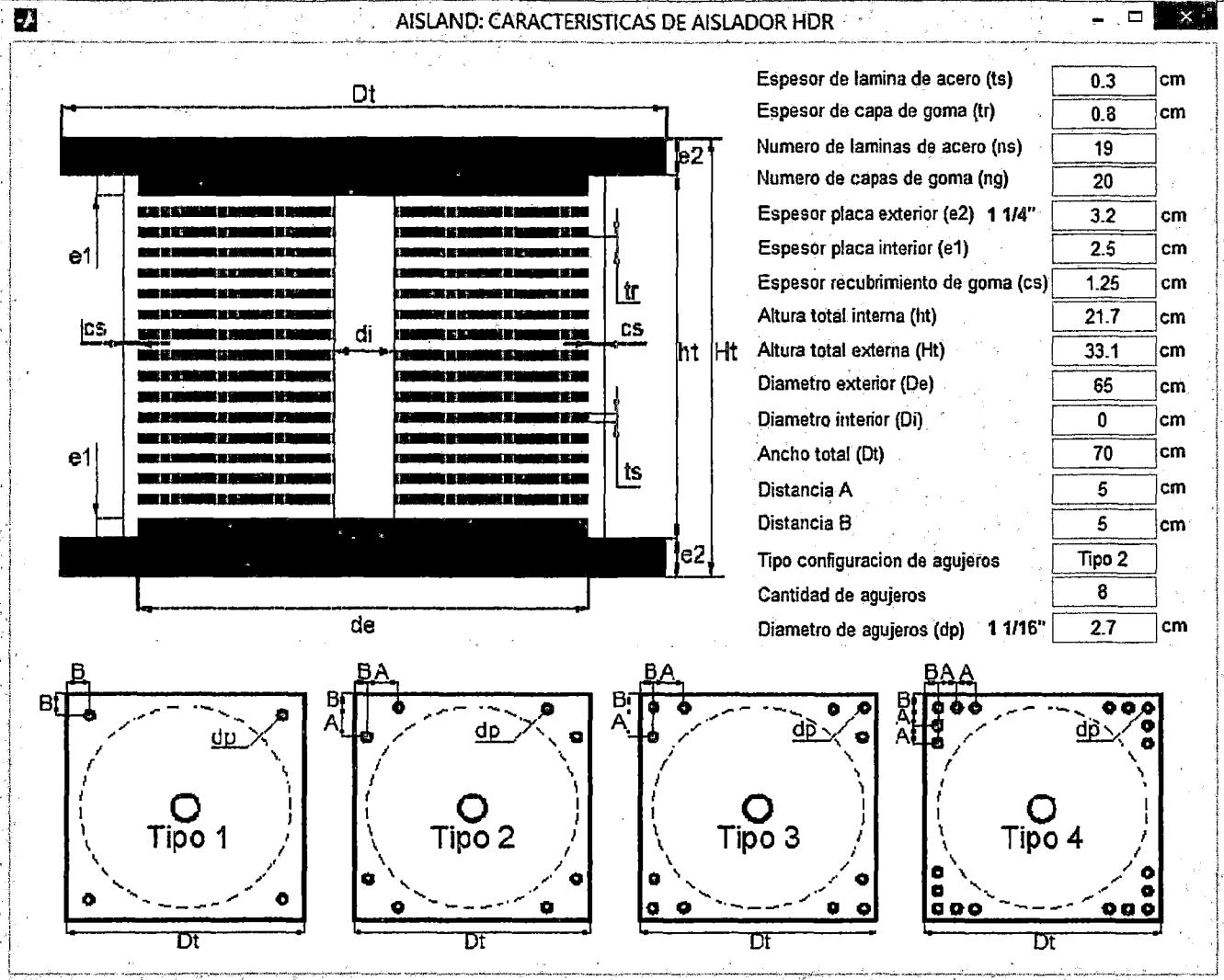


Figura 12.28. Caso HDR1+HDR2:Dimensiones geométricas del aislador diseñado HDR2.

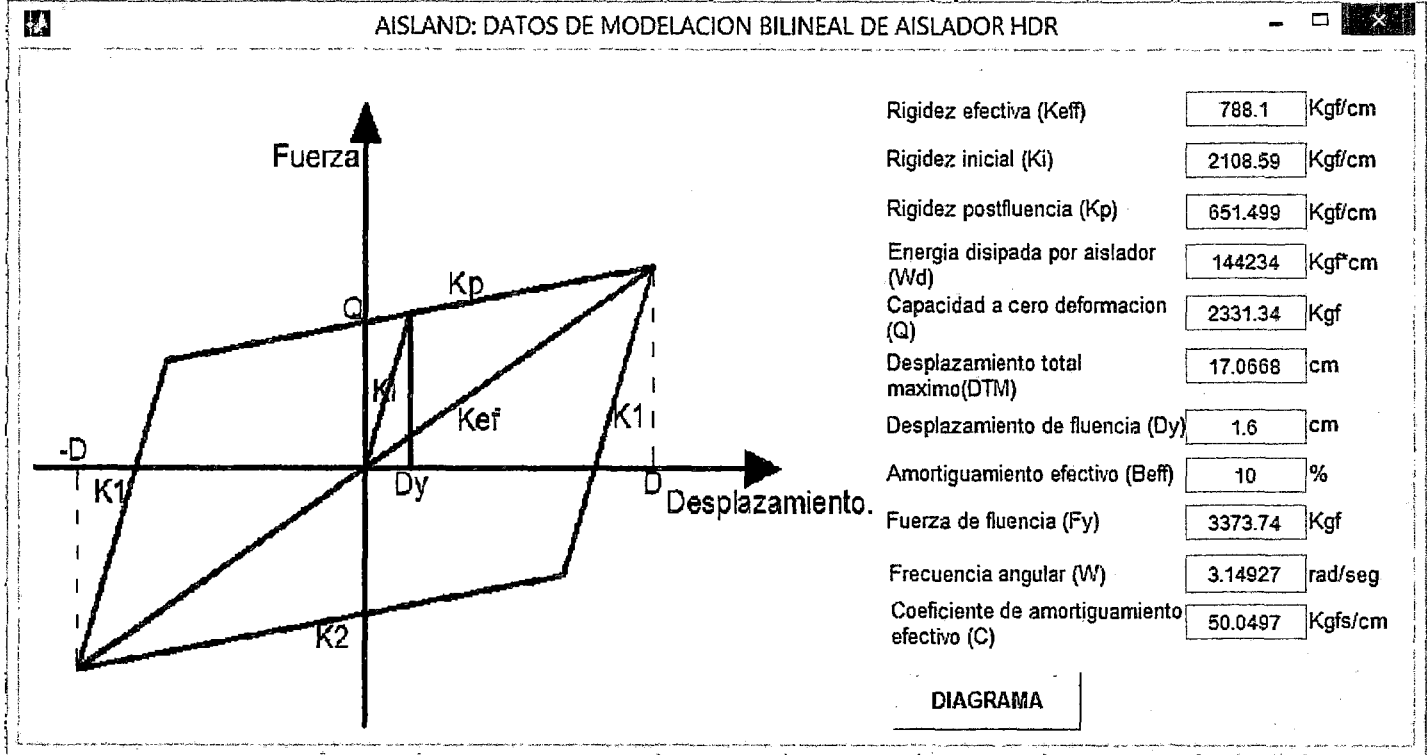


Figura 12.29. Caso HDR1+HDR2: Parámetros para la modelación bilineal del aislador HDR2.

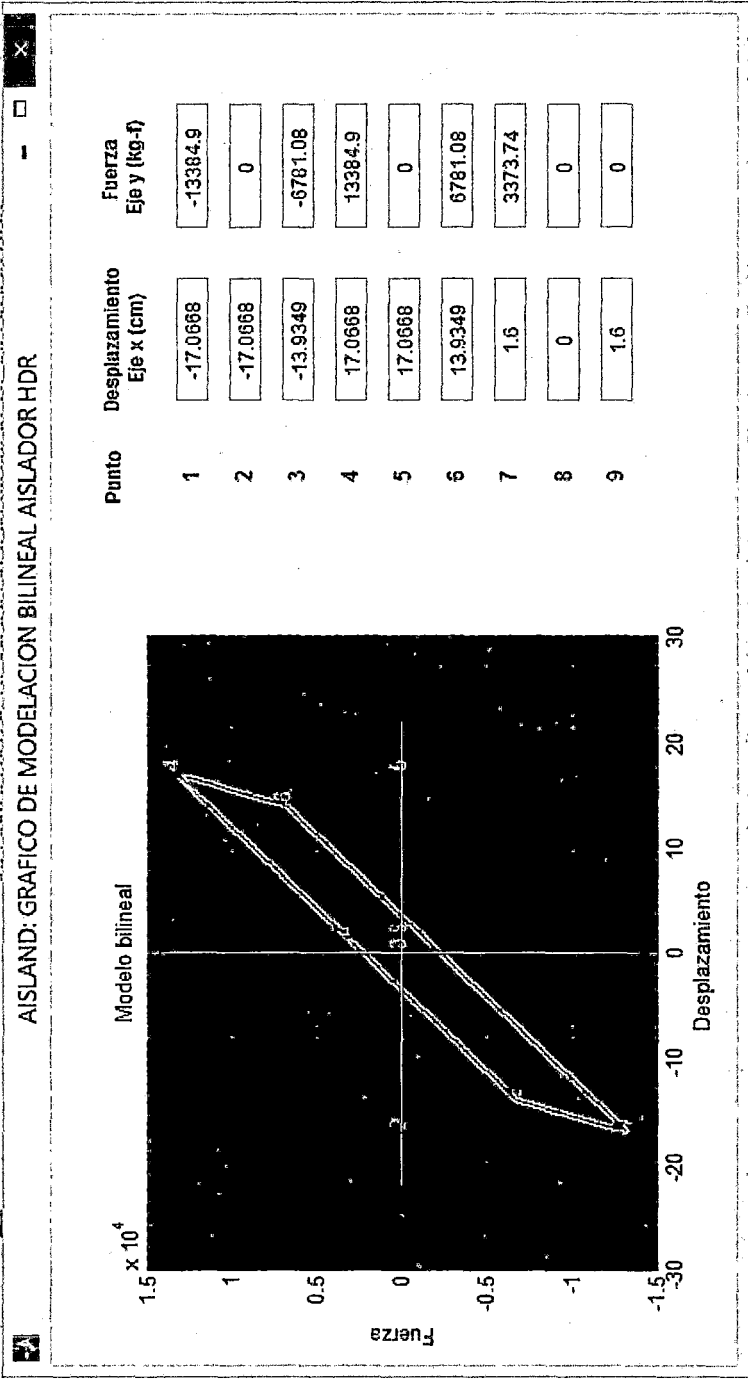


Figura 12.30. Caso HDR1+HDR2:Gráfico de la modelación bilineal del aislador HDR2.

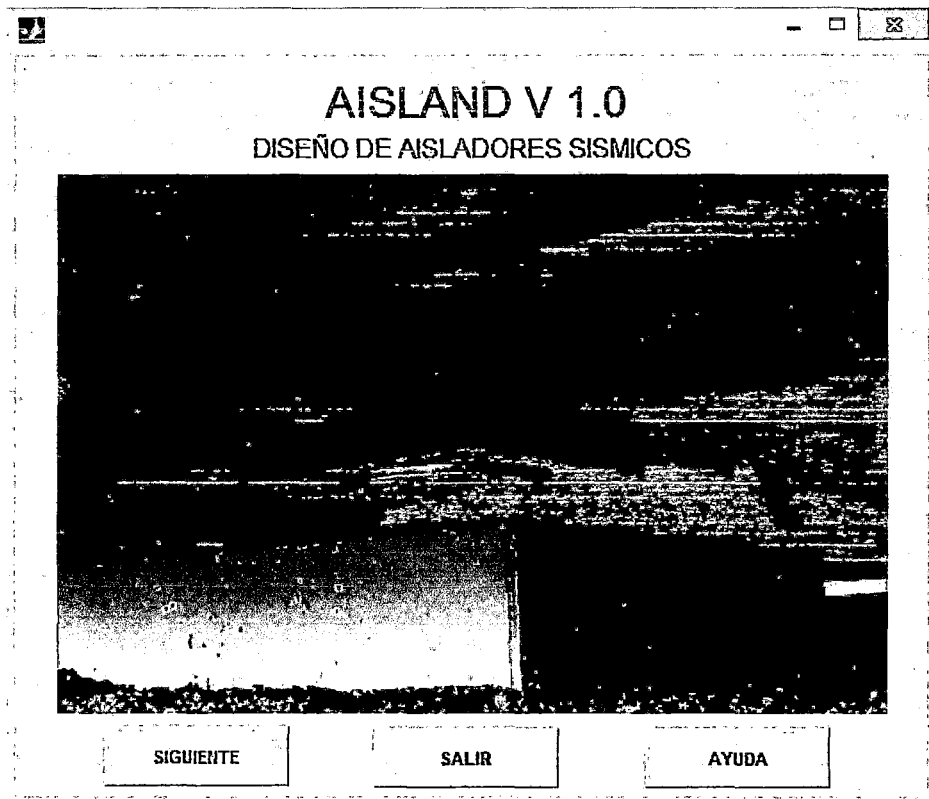


Figura 12.31. Caso HDR+LRB:Ingreso al programa.

Figura 12.32. Caso HDR+LRB:Datos iniciales

RESULPREV

PROPIEDADES GENERALES DEL SISTEMA

Rigidez compuesta (Kcomp)	29017.8	Kgf/cm	Desplazamiento de diseño (Dd)	9.93971	cm
Amortiguamiento promedio (Bprom)	15	%	Desplazamiento maximo (Dm)	14.9096	cm
Periodo de diseño (Td)	2	Seg	Desplazamiento total de diseño (Dtd)	10.9337	cm
Rigidez total aisladores tipo 1 (KT1)	14508.9	Kgf/cm	Desplazamiento total maximo (Dtrn)	16.4005	cm
Rigidez total aisladores tipo 2 (KT2)	14508.9	Kgf/cm			
Rigidez individual aislador tipo 1 (KI1)	580.356	Kgf/cm			
Rigidez individual aislador tipo 2 (KI2)	1209.08	Kgf/cm			

Figura 12.34. Caso HDR+LRB: Resultados de las propiedades generales del sistema aislado.

Figura 12.35. Caso HDR+LRB: Ventana de diseño del aislador tipo HDR.

ASLAND: DISEÑO DE AISLADORES TIPO HDR(1)

DATOS Carga vertical maxima (Pmax) 264840 Kg-f Carga vertical minima (Pmin) 38133.4 Kg-f % Deformacion de corte directa maxima 200 % % Deformacion de corte maximo admisible 250 % Diametro de seccion anular (dl) 0 cm Tipo de conexion Fija (pernos) Tension admisible de compresion (T _{ac}) 80 Kg-f/cm ² Esfuerzo de fluencia del acero 2400 Kg-f/cm ² Modulo de compresibilidad de goma 20000 Kg-f/cm ² Aceleracion de la gravedad 981 cm/s ² ACEPTAR BORRAR SALIR PROPIEDADES HISTERESIS	R. 02: Calculo de la rigidez horizontal Rigidez horizontal total (Kht) 14508.9 Kg-f/cm Rigidez horizontal aislador (Kh) 580.356 Kg-f/cm R. 03: Area y diametro del aislador Area del aislador (A) 3310.5 cm ² Diametro del aislador (De) 64.9234 cm Dato: 65 cm Diametro asumido (De) 65 cm Area final de aislador (Af) 3318.32 cm ² ACEPTAR R. 04: Espesor de goma Espesor total de goma (Hr) 8.20026 cm Dato: 0.8 cm Espesor de capa de goma (tr) 0.8 cm ACEPTAR # capas de goma 10.2503 capas Dato: 22 capas # capas de goma asumido 22 capas Espesor total de goma final (Hr) 17.6 cm ACEPTAR R.05:Modulo de corte y Factor de forma Modulo de corte (G) 3.07815 kg-f/cm ² Factor de forma (S) 20.3125 Modulo de corte comercial (G) 3.0 kg-f/cm ²	R. 06: Capa de acero Dato: 0.3 cm Espesor de capa de acero (ts) 0.3 cm ACEPTAR Tension maxima de traccion en placas (T _{max}) 320 kg-f/cm ² Tension admisible de traccion en placas (T _{adm}) 1800 kg-f/cm ² T _{max} < T _{adm} R.07:Altura total del aislador H goma+ laminas de acero 23.9 cm H placa interior de acero sup e inf 2.5 cm H placa exterior de acero sup e inf 3.2 cm 1 1/4" Htotal= H goma+ laminas de acero + placa int sup e inf + placa ext sup e inf 35.3 cm ACEPTAR R.08:Rigidez y frecuencia vertical Modulo de compresion acero + goma (Ec) 4967.34 kg-f/cm ² Rigidez vertical (Kv) 936546 kg-f/cm Frecuencia vertical (fv) 24.8828 Hz Cumple Kv > 1000*Kh Cumple fv > 10Hz	R. 10: Deformacion angular maxima Valor Eo 35 Valor K 0.7 Factor de seguridad 1.5 Deformacion angular por corte 0.931848 grados Deformacion angular por compresion 0.481427 grados Deformacion angular maxima 1.41328 grados Deformacion angular maxima admisible 3.11667 grados Cumple, Def ang. maxima < Def ang. admisible ACEPTAR R.11:Verificacion al pandeo Carga critica (P _{crit}) 575422 kg-f P _{crit} /P _{max} 2.17271 Factor de seguridad (F.S.) 2 Cumple la cond. de pandeo
R.01:Desplazamiento de diseño y maximo Cf. reduc amortiguamiento (Bd) 1.35 Desplazamiento de diseño (DD) 9.93971 cm Desplazamiento maximo (DM) 14.9096 cm Desplazamiento total de diseño (DTD) 10.9337 cm Desplazamiento total maximo (DTM) 16.4005 cm			
R.09:Verificacion del periodo objetivo Rigides horizontal (Kh) 565.622 kg-f/cm Perido objetivo (Td) 2.02588 seg El Td verificado esta proximo al Td objetivo			
R.12:Verificacion al volcamiento Desplazamiento maximo (D _{max}) 47.6632 cm D _{max} /DD 2.9062 Factor de seguridad (F.S.) 1 Cumple verif. al volteo			

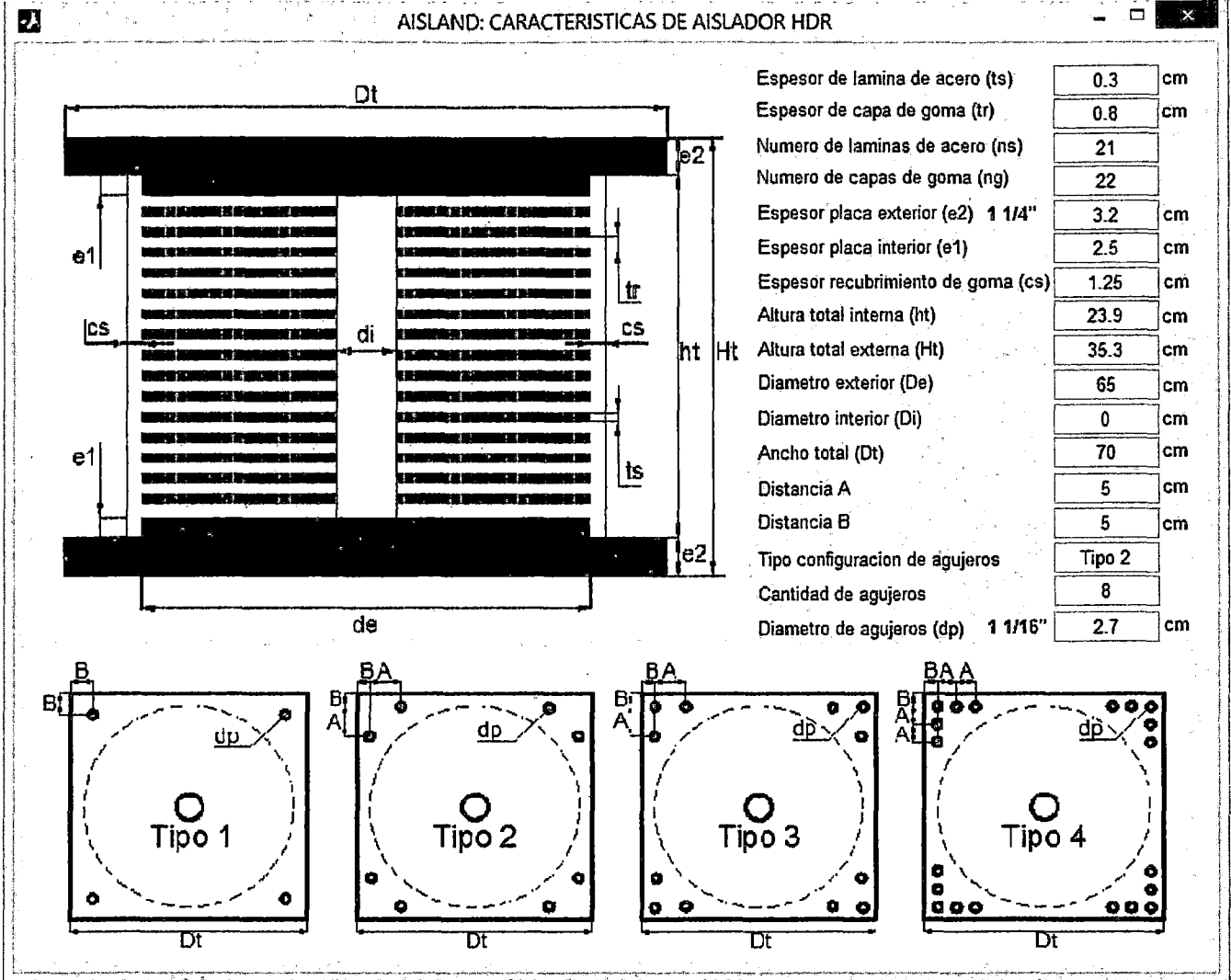


Figura 12.36. Caso HDR+LRB: Dimensiones geométricas del aislador diseñado HDR.

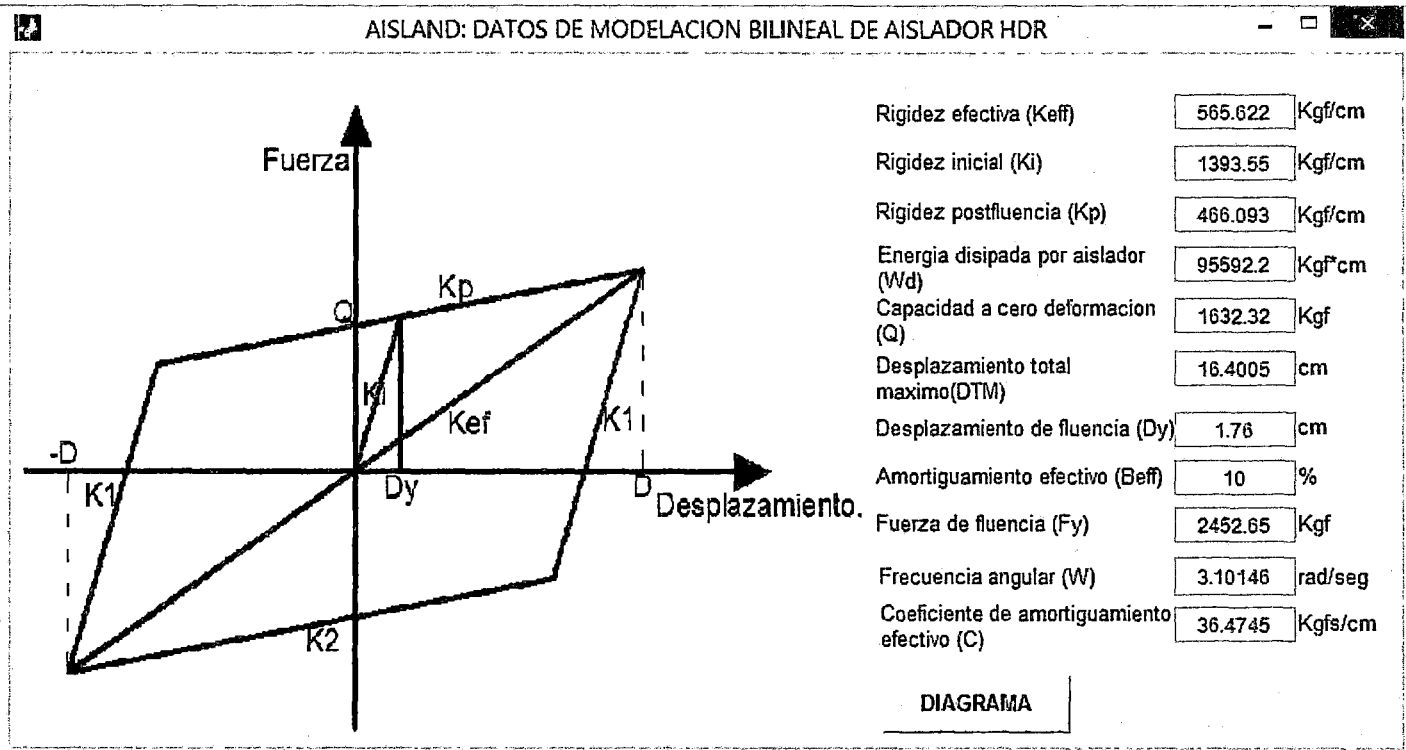


Figura 12.37. Caso HDR+LRB: Parámetros para la modelación bilineal del aislador HDR.

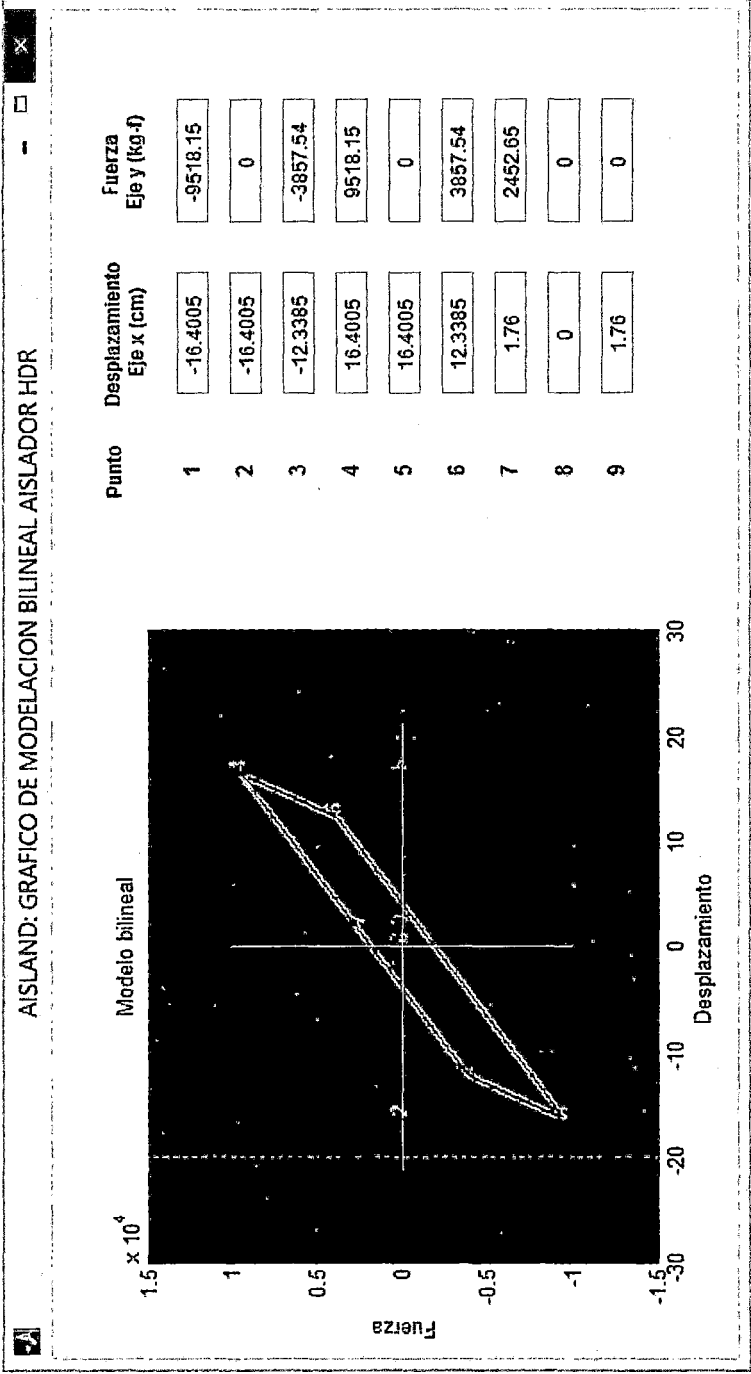


Figura 12.38. Caso HDR+LRB:Gráfico de la modelación bilineal del aislador HDR.

Figura 12.39. Caso HDR+LRB: Ventana de diseño del aislador tipo LRB.

ASLAND: DISEÑO DE AISLADOR TIPO LRB

DATOS	
Carga vertical maxima (Pmax)	264840 Kg-f
Carga vertical minima (Pmin)	38133.4 Kg-f
% Deformacion de corte directa maxima	200 %
% Deformacion de corte maximo admisible	250 %
Tipo de conexion	Fija (pernos)
Tension admisible de compresion (T _{ac})	80 Kg-f/cm ²
Esfuerzo de fluencia del	2400 Kg-f/cm ²
Modulo de compresibilidad de goma	20000 Kg-f/cm ²
Modulo de compresibilidad del plomo	140000 Kg-f/cm ²
Tension de fluencia del plomo	100 kgf/cm ²
Aceleracion de la gravedad	981 cm/s ²
Factor de amplificacion de rigidez inicial N=K _i /K _{pf}	10
ACEPTAR BORRAR SALIR	
PROPIEDADES HISTERESIS	

R.01:Desplazamiento de diseño y maximo	
Cf. reduc amortiguamiento (Bd)	1.35 cm
Desplazamiento de diseño (OD)	9.93971 cm
Desplazamiento maximo (DM)	14.9096 cm
Desplazamiento total de diseño (DTD)	10.9337 cm
Desplazamiento total maximo (DTM)	16.4005 cm

R. 02: Calculo de la rigidez horizontal	
Rigidez horizontal total (K _{ht})	14508.9 Kg-f/cm
Rigidez horizontal aislador (K _h)	1209.08 Kg-f/cm

R. 03: Capac. de aislador a def. cero y diam. Interno	
Diametro de plomo calculado (dp)	9.16334 cm
Diametro de plomo asumido (D _{pf})	9.15 cm
Area del nucleo de plomo (A _p)	65.7557 cm ²
Capacidad a def. cero final (Q _i)	6575.57 Kg-f
ACEPTAR	

R. 04: Area y diametro del aislador	
Area del aislador (A)	3310.5 cm ²
Diametro del aislador (De)	65.565 cm
Dato:	70 cm
Diametro asumido (De)	70 cm
Area final de aislador (A _f)	3782.7 cm ²
ACEPTAR	

R. 05: Espesor de goma	
Espesor total de goma (Hr)	8.20026 cm
Espesor de capa de goma (tr)	0.8 cm
ACEPTAR	
# capas de goma	10.2503 cap
Dato:	22 cap
# capas de goma asumido	22 cap
Espesor total de goma final (Hr)	17.6 cm
ACEPTAR	

R.06:Modulo de corte y Factor de forma	
Modulo de corte (G)	kg-f/cm ² 3.76008
Factor de forma (S)	21.5012
Modulo de corte comercial	kg-f/cm ² 3.80

R.07:Capa de acero	
Espesor de capa de acero (ts)	0.3 cm
ACEPTAR	

R. 07: Capa de acero	
Tension maxima de traccion en placas (T _{max})	320 kg-f/cm ²
Tension admisible de traccion en placas (T _{adm})	1800 kg-f/cm ²
Cumple T _{max} <T _{adm}	

R.08:Altura total del aislador	
H goma+ laminas de acero	23.9 cm
H placa exterior de acero Sup e Inf	3.2 cm 1 1/4"
H placa interior de acero Sup e Inf	2.5 cm
Htotal= H goma+ laminas de acero + placa sup e inf	35.3 cm
ACEPTAR	

R.09:Rig. postfluencia ,Rigidez inicial y Rigidez efectiva	
Rigidez postfluencia (K _p)	816.72 kg-f/cm
Rigidez efectiva (K _{eff})	1217.66 kg-f/cm
Rigidez inicial (K _i)	8167.2 Kg-f/cm

R.10:Desplazamiento de fluencia y fuerza de fluencia	
Desplazamiento de fluencia (D _y)	0.894576 cm
Fuerza de fluencia (F _y)	7306.18 kg-f
Energia disipada (W _d)	407842 kg-f
Amortiguamiento efectivo final (B)	19.8185 %
Coficiente de amortiguamiento final (B _d)	1.49455
Fuerza característica del plomo (Q)	6575.57 kg-f

R.11:Propiedades finales del sistema	
Periodo real del sistema (T _d)	1.99294 seg
Desplazamiento total maximo final (DTM)	16.4005 cm
Def. a corte de diseño final (D _{cd})	0.931848

R.12:Rigidez y frecuencia vertical	
Modulo de compresion acero + goma (E _c)	5320.23 kg-f/cm ²
Rigidez vertical (K _v)	1.52864e+06 kg-f/cm
Frecuencia vertical (f _v)	26.4323 Hz
Cumple f _v > 10Hz	

R. 13: Deformacion angular maxima	
Dato:	
Valor E _o	35
Dato:	
Valor K	0.7
Factor de seguridad	1.5
Deformacion angular por corte	0.931848 grados
Deformacion angular por compresion	0.454895 grados
Deformacion angular maxima	1.38674 grados
Deformacion angular maxima admisible	3.11667 grados
Cumple,Def ang. maxima < Def ang.admisible	
ACEPTAR	

R.14:Verificacion al pandeo	
Carga critica (P _{crit})	829778 kg-f
P _{crit} /P _{max}	3.13313
Factor de seguridad (F.S.)	2
Cumple la cond. de pandeo:P _{crit} /P _{max} > F.S.	

R.15:Verificacion al volcamiento	
Desplazamiento maximo (D _{max})	39.7014 cm
D _{max} /DTM	2.42074
Factor de seguridad (F.S.)	1
Cumple verif. al volteo:D _{max} /DTM > F.S.	

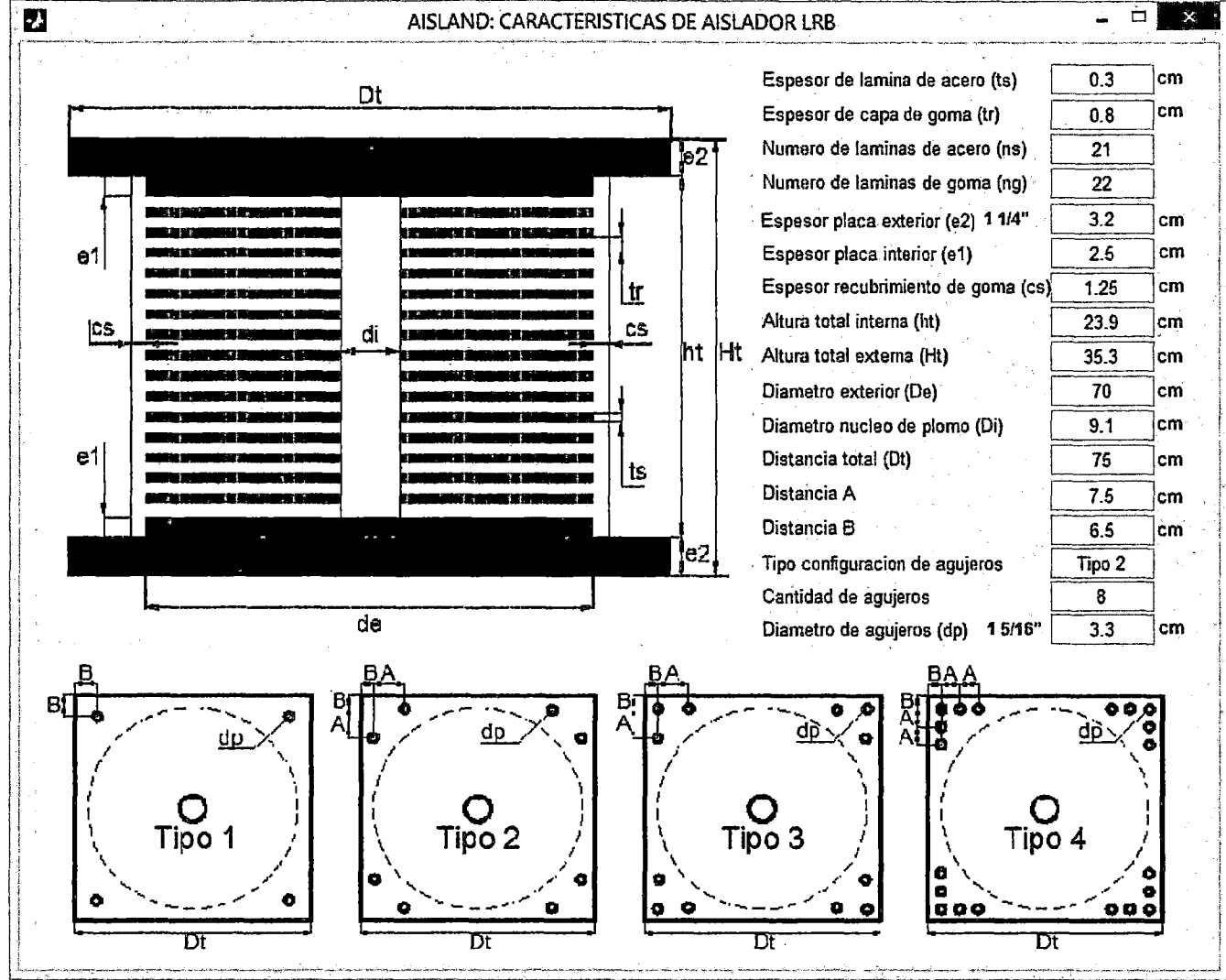


Figura 12.40. Caso HDR+LRB: Dimensiones geométricas del aislador diseñado LRB.

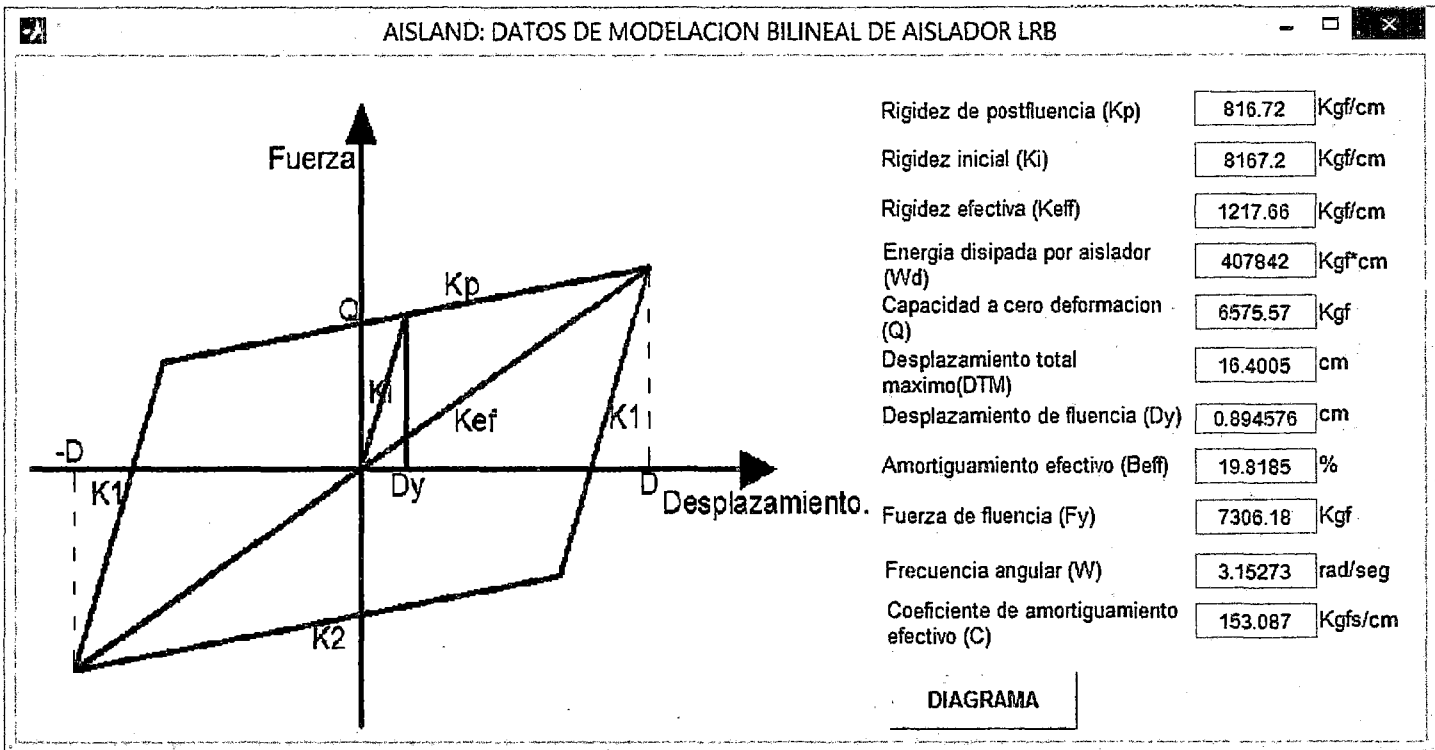


Figura 12.41. Caso HDR+LRB: Parámetros para la modelación bilineal del aislador LRB.

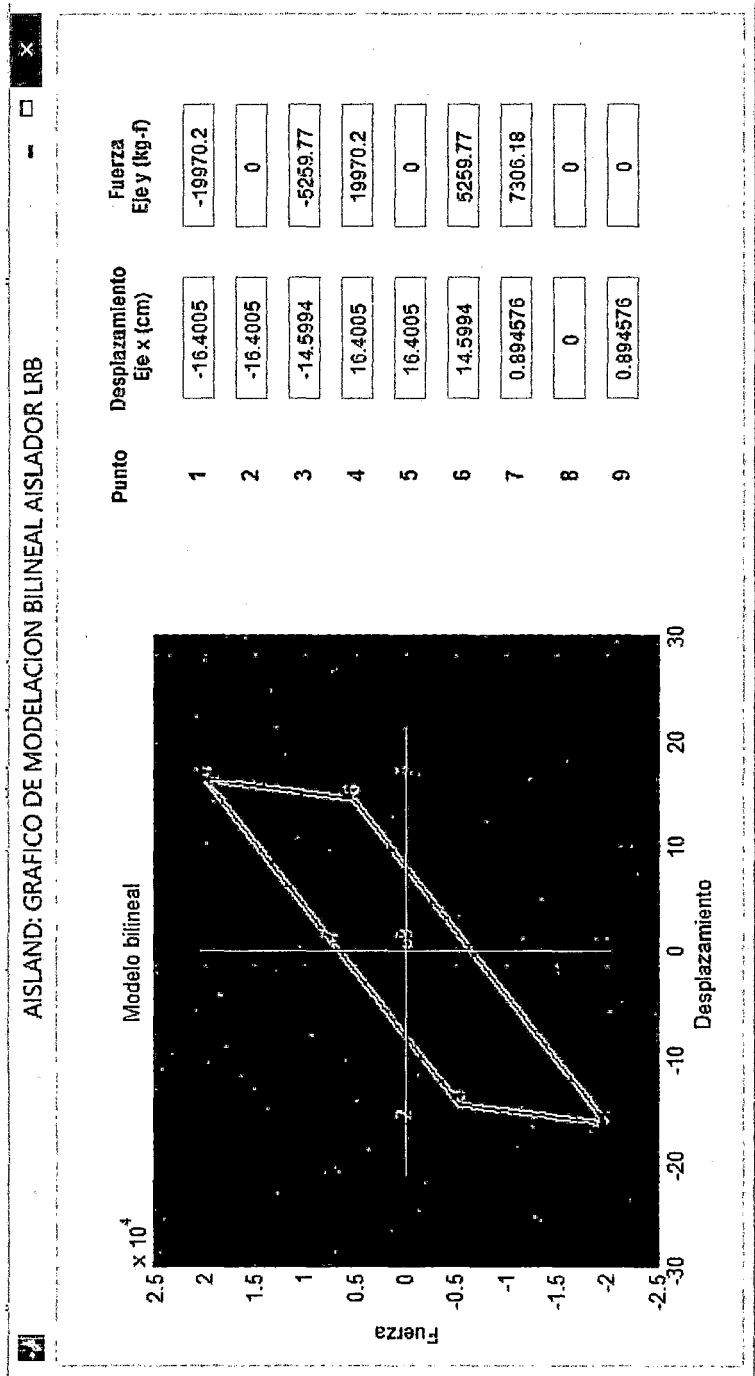


Figura 12.42. Caso HDR+LRB:Gráfico de la modelación bilineal del aislador LRB.

Capítulo 13

Análisis y Diseño de la Estructura Aislada

Para realizar el análisis de la estructura aislada se consideran los lineamientos del reglamento ASCE/SEI 7-10 mostrados en el Capítulo 6. Ver Anexo A.

Se utilizara para el análisis sísmico de la estructura el análisis dinámico que comprende dos tipos de análisis: Modal Espectral y Tiempo Historia.

13.1. Modelación del Aislamiento de la Estructura en Etabs v13.

Como se detallo en capítulos anteriores, se usaran 37 aisladores sísmicos en la base de la estructura. Todos ellos dispuestos de acuerdo a cuatro casos de diseño.

El modelamiento de estos aisladores en el programa Etabs V13 se da de acuerdo a los siguientes pasos:

13.1.1. Procedimiento general de definición de aisladores.

- En la opción *Define/Section properties/Link-Support properties*, se definen los tipos y propiedades del aislador.
- En *Add new property*, se crea una nueva propiedad.
- Luego en *Link Type* , se escoge la opción Rubber Isolator.
- En *Directional properties*, se definen las propiedades direccionales de los aisladores a usar.Ver figura 13.1.
- En la figura 13.1 se muestran activadas los casilleros en las direcciones 1,2 y 3, estos corresponden a las dirección vertical Z, horizontal en X y horizontal en Y respectivamente.
- Si se desea hacer un análisis *Modal Espectral* es suficiente con la activación de las tres casillas en la figura 13.1. Pero si se desca hacer una análisis *Tiempo Historia* se necesita activar las casillas de la opción Nonlinear e ingresar los parámetros correspondientes a la modelación bilineal.

Link Property Data

General

Link Property Name

HR085X4R

Link Property Notes

Modify/Show Notes...

Link Type

Rubber Isolator

P-Delta Parameters

Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass

0

kgf-s²/cm

Weight

0

kgf

Rotational Inertia 1

0

kgf-cm-s²

Rotational Inertia 2

0

kgf-cm-s²

Rotational Inertia 3

0

kgf-cm-s²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☐	Modify/Show for U1...	☐ R1	☐	☐	Modify/Show for R1...
☒ U2	☐	☐	Modify/Show for U2...	☐ R2	☐	☐	Modify/Show for R2...
☒ U3	☐	☐	Modify/Show for U3...	☐ R3	☐	☐	Modify/Show for R3...

Fix All

Clear All

OK

Cancel

Figura 13.1. Ventana en Etabs v13 para definición de parámetros de aislador.

- En *Add modify grids/Modify show grid system/Reference planes* se adiciona un nuevo plano de referencia ubicado a $-H_T$, Siendo H_T la altura total del aislador. Esto para dar el espacio de dibujo de los aisladores por debajo de la superestructura.
- Se procede al dibujo de los aisladores con la opción *Draw/Draw Links*. Ver figura 13.2.

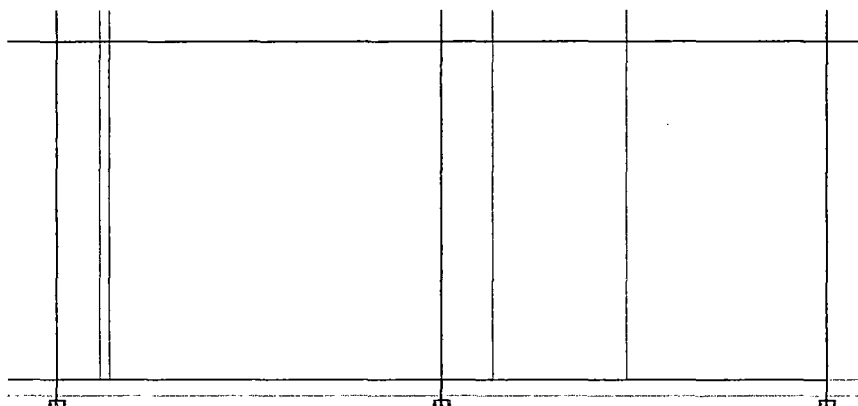


Figura 13.2. Asignación de los aisladores en modelamiento de Etabs v13.

- En la punto inferior a cada aislador se asigna un empotramiento fijo.

13.1.2. Propiedades direccionales de aisladores a usar.

La definición de la propiedades direccionales es la parte fundamental del aislador.

Para los cuatro casos de diseño se tiene las siguientes definiciones:

1. *Caso 1: Solo aisladores HDR.*

Se introduce los valores calculados en la Tabla 12.1.

En la figura 13.3 se muestra las propiedades verticales introducidas.

En la figura 13.4 se muestra las propiedades horizontales en la dirección 2 y 3 introducidas.

2. *Caso 2: Solo aisladores LRB.*

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name

HDR1

Direction

U1

Type

Rubber Isolator

NonLinear

No

Linear Properties

Effective Stiffness

1199035.54

kgf/cm

Effective Damping

0

kgf-s/cm

OK

Cancel

Figura 13.3. Propiedades verticales de aislador HDR.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name

HDR1

Direction

U2

Type

Rubber Isolator

NonLinear

Yes

Linear Properties

Effective Stiffness

788.1

kgf/cm

Effective Damping

50.05

kgf-s/cm

Shear Deformation Location

Distance from End-J

16.55

cm

Nonlinear Properties

Stiffness

2215.65

kgf/cm

Yield Strength

3545.05

kgf

Post Yield Stiffness Ratio

0.294

OK

Cancel

Figura 13.4. Propiedades horizontales de aislador HDR.

Se introduce los valores calculados en la Tabla 12.2.

En la figura 13.5 se muestra las propiedades verticales introducidas.

En la figura 13.6 se muestra las propiedades horizontales en la dirección 2 y 3 introducidas.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB2

Direction: U1

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Linear Properties

Effective Stiffness: 1215644.14 kgf/cm

Effective Damping: 0 kgf-s/cm

OK Cancel

Figura 13.5. Propiedades verticales de aislador LRB.

3. Caso 3: Combinación de dos tipos de aisladores HDR.

Se introduce los valores calculados en la Tabla 12.3.

En la figura 13.7 se muestra las propiedades verticales HDR1 introducidas.

En la figura 13.8 se muestra las propiedades horizontales HDR1 en la dirección 2 y 3 introducidas.

En la figura 13.9 se muestra las propiedades verticales HDR2 introducidas.

En la figura 13.10 se muestra las propiedades horizontales HDR2 en la dirección 2 y 3 introducidas.

4. Caso 4: Combinación de aisladores HDR con LRB.

Se introduce los valores calculados en la Tabla 12.4.

En la figura 13.11 se muestra las propiedades verticales HDR introducidas.

En la figura 13.12 se muestra las propiedades horizontales HDR en la dirección 2 y 3 introducidas.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name

LRB2

Direction

U2

Type

Rubber Isolator

NonLinear

Yes

Linear Properties

Effective Stiffness

790.11

kgf/cm

Effective Damping

99.61

kgf-s/cm

Shear Deformation Location

Distance from End-J

15.45

cm

Nonlinear Properties

Stiffness

5291.63

kgf/cm

Yield Strength

4276.07

kgf

Post Yield Stiffness Ratio

0.1

OK

Cancel

Figura 13.6. Propiedades horizontales de aislador LRB.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name

HDR3A

Direction

U1

Type

Rubber Isolator

NonLinear

No

Linear Properties

Effective Stiffness

1199035.54

kgf/cm

Effective Damping

0

kgf-s/cm

OK

Cancel

Figura 13.7. Propiedades verticales de aislador HDR1.



Link/Support Directional Properties



Identification

Property Name

HDR3A

Direction

U2

Type

Rubber Isolator

NonLinear

Yes

Linear Properties

Effective Stiffness

788.1

kgf/cm

Effective Damping

100.09

kgf-s/cm

Shear Deformation Location

Distance from End-J

16.55

cm

Nonlinear Properties

Stiffness

3429.07

kgf/cm

Yield Strength

5486.52

kgf

Post Yield Stiffness Ratio

0.15

OK

Cancel

Figura 13.8. Propiedades horizontales de aislador HDR1.



Link/Support Directional Properties



Identification

Property Name

HDR3B

Direction

U1

Type

Rubber Isolator

NonLinear

No

Linear Properties

Effective Stiffness

1199035.54

kgf/cm

Effective Damping

0

kgf-s/cm

OK

Cancel

Figura 13.9. Propiedades verticales de aislador HDR2.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name

HDR38

Direction

U2

Type

Rubber Isolator

NonLinear

Yes

Linear Properties

Effective Stiffness

788.1

kgf/cm

Effective Damping

50.04

kgf-s/cm

Shear Deformation Location

Distance from End-J

16.55

cm

Nonlinear Properties

Stiffness

2108.59

kgf/cm

Yield Strength

3373.74

kgf

Post Yield Stiffness Ratio

0.308

OK

Cancel

Figura 13.10. Propiedades horizontales de aislador HDR2.

En la figura 13.13 se muestra las propiedades verticales LRB introducidas.

En la figura 13.14 se muestra las propiedades horizontales LRB en la dirección 2 y 3 introducidas.

Para todos los casos se define los títulos:

- **Effective Stiffness:** Rigidez efectiva K_{ef} .
- **Effective Damping:** Amortiguamiento efectivo C .
- **Distance from End-J:** La mitad de la altura total del aislador.
- **Stiffness:** Rigidez inicial K_i .
- **Yield Stregnth:** Fuerza de fluencia F_y .



Link/Support Directional Properties



Identification

Property Name

HDR4

Direction

U1

Type

Rubber Isolator

NonLinear

No

Linear Properties

Effective Stiffness

936545.69

kgf/cm

Effective Damping

0

kgf-s/cm

OK

Cancel

Figura 13.11. Propiedades verticales de aislador HDR.



Link/Support Directional Properties



Identification

Property Name

HDR4

Direction

U2

Type

Rubber Isolator

NonLinear

Yes

Linear Properties

Effective Stiffness

565.62

kgf/cm

Effective Damping

36.47

kgf-s/cm

Shear Deformation Location

Distance from End-J

17.65

cm

Nonlinear Properties

Stiffness

1393.55

kgf/cm

Yield Strength

2452.65

kgf

Post Yield Stiffness Ratio

0.334

OK

Cancel

Figura 13.12. Propiedades horizontales de aislador HDR.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name

LRB4

Direction

U1

Type

Rubber Isolator

NonLinear

No

Linear Properties

Effective Stiffness

1528636.36

kgf/cm

Effective Damping

0

kgf-s/cm

OK

Cancel

Figura 13.13. Propiedades verticales de aislador LRB.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name

LRB4

Direction

U2

Type

Rubber Isolator

NonLinear

Yes

Linear Properties

Effective Stiffness

1217.68

kgf/cm

Effective Damping

153.09

kgf-s/cm

Shear Deformation Location

Distance from End-J

17.65

cm

Nonlinear Properties

Stiffness

8167.2

kgf/cm

Yield Strength

7306.18

kgf

Post Yield Stiffness Ratio

0.1

OK

Cancel

Figura 13.14. Propiedades horizontales de aislador LRB.

- **Post Yield Stiffness Ratio:** División entre rigidez de postfluencia K_p y la rigidez inicial K_i .

13.2. Análisis Modal Espectral

1. ELABORACIÓN DEL ESPECTRO DE DISEÑO.

Para elaborar el espectro de diseño nos guiaremos con lo descrito en el capítulo 6 (Adaptación del ASCE/SEI 7-10 a los parámetros del RNE-030). Donde se describen los valores de los factores: Z, U, S y R. Con los cuales se genera el espectro de diseño.

Estos factores toman los siguientes valores:

- $Z=0.3$; El sismo de diseño para el reglamento RNE E-030 peruano. Este valor corresponde a la zona 2.
- $U=1$; como se detallo en capítulos anteriores este factor toma el valor de la unidad.
- $S=1.2$; para el tipo de suelo identificado en la zona de estudio , corresponde a un suelo tipo S2 (Suelo intermedio) con un periodo de suelo $T_p = 0,6seg$.
- $R=1$; de acuerdo a lo descrito en el capítulo 6.
- C, es variable con el tiempo.

Con los factores identificados se procede a elaborar el espectro de diseño sísmico. En la figura 13.15 se muestra el proceso de elaboración y en la figura 13.16 el espectro resultante

En la figura 13.17 se muestra la comparación entre los espectros del RNE E-030 en las direcciones X-X y Y-Y y el espectro para el sistema aislado.

Como se observa el espectro de diseño del sistema aislado es mayor a los espectros E-030. Esto es debido al cambio de los valores U(factor de categoría de la edificación) y R (factor de reducción sísmica). Ambos valores son iguales a la unidad.

Como se describió en capítulos anteriores existe una alta exigencia de desempeño del sistema de aislamiento después de un evento sísmico, puesto que estos dispositivos deben ser capaces de soportar los desplazamientos y fuerzas sísmicas máximas.

Existen dos métodos para considerar el efecto del amortiguamiento en el sistema de aislamiento.

La primera es reducir el espectro de diseño en la región correspondiente a los períodos de los tres primeros modos, que conciernen a desplazamientos básicamente de los aisladores, dividiendo las ordenadas espectrales entre el factor de reducción por amortiguamiento B_D (correspondiente al aislador) del cuadro 4.13.

Pues los aisladores desarrollarán mayor amortiguamiento que la superestructura. Para esto en la ventana de las propiedades direccionales de los aisladores se considera el factor de amortiguamiento $C = 0$ para no considerar un doble efecto de amortiguamiento.

El segundo método es considerar el factor de amortiguamiento C con el valor correspondiente a cada aislador.

En nuestro caso se usará el segundo método pues este valor ya ha sido calculado en capítulos anteriores.

2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.

Una vez ingresados las propiedades de los aisladores y definido el espectro de diseño se procedió al análisis modal espectral de la estructura aislada para los cuatro casos de diseño. ver figura 13.18:

Algunos resultados los mas importantes usados para posteriormente hacer la comprobación de los diseños son los mostrados en la tabla 13.1:

Cabe resaltar que uno de los resultados de este análisis es el *desplazamiento de diseño* D_D del sistema de aislamiento que es equivalente al desplazamiento del diafragma de la losa de base.

A partir de ella se obtienen los valores: D_{TD} y D_{TM} en cada uno de los sentidos y casos de análisis, tal y como se muestra en la tabla 13.1.

Los parámetros V_b y V_s son las fuerzas cortantes de la edificación calculadas en el nivel del sistema de aislamiento y en la base de la superestructura respectivamente.

Tabla 13.1. Parámetros para comprobación de diseño

Resultados de análisis modal espectral				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$V_{sx} (Kg - f)$	223289.04	186479.03	208719.43	212527.78
$V_{sy} (Kg - f)$	215479.37	179066.33	200757.84	208289.01
$V_{bx} (Kg - f)$	264320.25	220532.17	246982.3	251555.16
$V_{by} (Kg - f)$	258312.68	214561.47	240622.4	249784.75
$D_{Dx} (cm)$	9.074	7.552	8.479	8.754
$D_{Dy} (cm)$	8.949	7.415	8.337	8.706
$D_{TDx} (cm)$	9.981	8.307	9.326	9.629
$D_{TDy} (cm)$	9.843	8.156	9.170	9.576
$D_{TMx} (cm)$	14.972	12.460	13.99	14.444
$D_{TMy} (cm)$	14.765	12.234	13.756	14.364

3. VERIFICACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

a) Verificación por parámetros de comprobación V_b, V_s, D_{TD}, D_{TM} :

En el capítulo 4 , en el acápite correspondiente al reglamento ASCE/SEI 7-10, para el análisis sísmico se tienen algunas regulaciones para su verificación según el tipo de análisis a utilizar (Tiempo Historia o Modal espectral).

Se reescribe los parámetros del análisis estático V_b , V_s , D_{TD} y D_{TM} expuestos en el capítulo 4 [20]:

$$V_b = K_{Dmax} * D_D \tag{13.1}$$

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R_I} \tag{13.2}$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D \tag{13.3}$$

$$D_{TM} = 1,1 * 1,5 * D_D \tag{13.4}$$

En la tabla 13.2 se muestra los porcentajes mínimos a los cuales deben de llegar las fuerzas cortantes y desplazamientos resultantes del análisis modal espectral y del tiempo historia, dependiendo del tipo de estructura regular o irregular.

Tabla 13.2. Reducciones en porcentaje de fuerzas y desplazamientos para cada tipo de análisis

Tipo	Regular		Irregular		Desplazamientos	
Análisis	V_b	V_s	V_b	V_s	D_{TD}	D_{TM}
Modal Espectral	90.0 %	80.0 %	100.0 %	100.0 %	90.0 %	80.0 %
Tiempo Historia	80.0 %	60.0 %	100.0 %	80.0 %	90.0 %	80.0 %

Se calculan los parámetros de comprobación V_b , V_s , D_{TD} y D_{TM} para el primer caso de aislamiento HDR y sus correspondientes valores reducidos para una estructura regular. Para los otros casos se mostraran los resultados en tablas.

$$V_b = K_{Dmax} * D_D = 37 * 788,10 * 11,182 = 326063,765 \text{ Kg} - f \tag{13.5}$$

$$90 \% * V_b = 0,9 * 326063,765 = 293457,389 \text{ Kg} - f \tag{13.6}$$

$$D_{TD} = 1,1 * D_D = 1,1 * 11,182 = 12,30 \text{ cm} \tag{13.7}$$

$$90 \% * D_{TD} = 0,90 * 12,30 = 11,07 \text{ cm} \tag{13.8}$$

$$D_{TM} = 1,1 * 1,5 * D_D = 1,1 * 1,5 * 11,182 = 18,45 \text{ cm} \tag{13.9}$$

$$80 \% * D_{TM} = 0,80 * 18,45 = 14,76 \text{ cm} \tag{13.10}$$

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R_I} = \frac{37 * 788,10 * 11,182}{2} = 163031,883 \text{ Kg} - f \quad (13.11)$$

El valor de V_s se calcula teniendo en cuenta tres condiciones adicionales:

■ *Primera condición V_s :*

El valor de V_s no debe ser menor que la fuerza sísmica que se produciría en una estructura empotrada en la base con el mismo peso efectivo pero con el periodo de la estructura aislada.

■ *Segunda condición V_s :*

El valor de V_s no debe ser menor que la fuerza requerida para activar el sistema de aislamiento V_i .

■ *Tercera condición V_s :*

El valor de V_s no debe ser menor que la fuerza de corte basal correspondiente a la carga de diseño del viento.

■ *Primera condición V_s :*

Según el reglamento RNE E-030 la fuerza sísmica de corte es equivalente a la formula:

$$V_s = W * \frac{Z * U * C * S}{R} \quad (13.12)$$

Se obtiene el valor del factor $\frac{Z * U * C * S}{R}$ para un valor de C correspondiente a un periodo $T_D = 2,0 \text{ seg.}$

• $Z = 0,3$

• $U = 1,50$

• $S = 1,20$

• $R_x = 8,0$

• $R_y = 6,0$

• $C = 2,50 * \frac{tp}{T_D} = 2,50 * \frac{0,6}{2,0} = 0,75$

$$V_{sx} = W * \frac{Z * U * C * S}{R_x} = 145942,732 \text{ Kg} - f \quad (13.13)$$

$$V_{sy} = W * \frac{Z * U * C * S}{R_y} = 194686,451 \text{ Kg} - f \quad (13.14)$$

■ Segunda condición V_s ..

El valor de V_s no debe ser menor que la fuerza requerida para activar el sistema de aislamiento V_i .

$$V_i = 1,5 * K_e * D_y \tag{13.15}$$

Siendo K_e la rigidez inicial y D_y el desplazamiento de fluencia. Ambos del modelamiento bilineal del aislador.

$$V_i = 1,5 * K_e * D_y = 1,5 * 37 * 2215,65 * 1,60 = 196749,72 \text{ Kg} - f \tag{13.16}$$

■ Tercera condición V_s ..

Se desestima esta condición pues los vientos en la ciudad de Ayacucho están en el rango de 2-3 m/s y no generan fuerzas de corte elevadas.

De todos estos valores calculados se escoge el mayor, que en este caso es:

$$V_s = V_i = 196749,72 \text{ Kg} - f/cm \tag{13.17}$$

$$80 \% * V_s = 0,8 * 196749,72 = 157399,776 \text{ Kg} - f/cm \tag{13.18}$$

En la tabla 13.3 se muestran los valores reducidos de los parámetros de control para todos los casos en estudio.

Tabla 13.3. Reducciones de fuerzas y desplazamientos para todos los casos.

Caso	90 % * V_b	80 % * V_s	90 % * D_{TD}	80 % * D_{TM}
Caso1:HDR	293457.389	157399.776	11.07	14.76
Caso2:LRB	233607.799	189838.285	8.855	11.807
Caso3:HDR1+HDR2	271438.89	155749.161	10.239	13.652
Caso4:HDR+LRB	257193.719	178720.706	9.839	13.119

- 1) Para superestructuras regulares, el V_s del análisis sísmico modal espectral no debe ser menor que el 80 % de V_s del análisis estático.

En la tabla 13.4 se muestra la comparación del corte basal V_b .

Tabla 13.4. Verificación del corte basal de la superestructura en ton.

Verificación del corte basal V_s de la superestructura				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,8 * V_s$	157.39	189.83	155.74	178.72
V_{sx}	223.28	186.47	208.71	212.52
Condicion x	$V_{sx} > 0,8 * V_s$	$V_{sx} < 0,8 * V_s$	$V_{sx} > 0,8 * V_s$	$V_{sx} > 0,8 * V_s$
V_{sy}	215.47	179.06	200.75	208.29
Condicion y	$V_{sy} > 0,8 * V_s$	$V_{sy} < 0,8 * V_s$	$V_{sy} > 0,8 * V_s$	$V_{sy} > 0,8 * V_s$

Se puede observar que en el caso LRB no se cumple con esta condición pero en los demás casos si.

Se deberá hacer la corrección de la fuerza de corte en la base de la superestructura V_{sx} y V_{sy} para este caso. Procedimiento que se vera mas adelante.

- 2) Para el sistema de aislamiento y estructuras por debajo de ella, el V_b del análisis sísmico no debe de ser menor que el 90 % de V_b del análisis estático.

En la tabla 13.5 se muestra la comparación del corte basal V_b .

Tabla 13.5. Verificación del corte basal de la subestructura en ton.

Verificación del corte basal V_b de la subestructura.				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,9 * V_b$	293.45	233.60	271.43	257.19
V_{bx}	264.320	220.53	246.98	251.55
Condicion x	$V_{bx} < 0,9 * V_b$	$V_{bx} < 0,9 * V_b$	$V_{bx} < 0,9 * V_b$	$V_{bx} < 0,9 * V_b$
V_{by}	258.312	214.56	240.62	249.78
Condicion y	$V_{by} < 0,9 * V_b$	$V_{by} < 0,9 * V_b$	$V_{by} < 0,9 * V_b$	$V_{by} < 0,9 * V_b$

En la tabla 13.5 ninguno de los casos cumplen con la condición del corte basal en la subestructura.

Se deberá hacer la corrección de la fuerza de corte en la base de la subestructura V_{bx} y V_{by} para todos los casos. Procedimiento que se vera mas adelante.

- 3) El D_{TD} no debe de ser menor que el 90 % de D_{TD} del análisis

estático.

Tabla 13.6. Verificación del desplazamiento total de diseño D_{TD} del sistema de aislamiento en cm.

Verificación del desplazamiento total de diseño.				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,9 * D_{TD}$	11.07	8.85	10.24	9.839
D_{TDx}	9.07	7.55	8.48	8.75
Cond. x	$D_{TDx} < 0,9D_{TD}$	$D_{TDx} < 0,9D_{TD}$	$D_{TDx} < 0,9D_{TD}$	$D_{TDx} < 0,9D_{TD}$
D_{TDy}	8.95	7.42	8.34	8.70
Cond. y	$D_{TDy} < 0,9D_{TD}$	$D_{TDy} < 0,9D_{TD}$	$D_{TDy} < 0,9D_{TD}$	$D_{TDy} < 0,9D_{TD}$

En la tabla 13.6 ninguno de los casos cumplen con la condición del desplazamiento total de diseño en la subestructura.

Se deberá hacer la corrección correspondiente para todos los casos.

Procedimiento que se vera mas adelante.

- 4) El D_{TM} no debe de ser menor que el 80 % de D_{TM} del análisis estático.

Tabla 13.7. Verificación del desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema de aislamiento en cm.

Verificación del desplazamiento total máximo.				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,8 * D_{TM}$	14.76	11.80	13.65	13.12
D_{TMx}	14.972	12.46	13.99	14.44
Cond. x	$D_{TMx} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8D_{TM}$
D_{TMy}	14.765	12.23	13.75	14.36
Cond. y	$D_{TMy} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMy} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMy} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMy} > 0,8D_{TM}$

En la tabla 13.7 se observa que los tres casos de diseño cumplen con la condición del desplazamiento total máximo.

- 5) Corrección de parámetros de verificación de diseño.

Según lo estipulado en el reglamento ASCE/SFI 7-10 se hace la corrección de estos parámetros según el siguiente enunciado:

Escalamiento de resultados:

Cuando el esfuerzo de corte lateral en los elementos estructurales, determinado utilizando ya sea el espectro de respuesta o el análisis de respuesta en el tiempo en la superestructura o subestructura, es menor que los valores mínimos, todos los parámetros de respuesta, incluyendo las fuerzas y momentos de los elementos se deben aumentar proporcionalmente.

Este reglamento establece que cuando en el caso que no se cumpla con los parámetros mínimos, las fuerzas de corte se pueden escalar hacia los valores mínimos establecidos por medio de factores de escalamiento, obtenidos mediante las siguientes expresiones:

$$f_{V_{si}} = \frac{0,8 * V_s}{V_{si}} \quad (13.19)$$

$$f_{V_{bi}} = \frac{0,8 * V_b}{V_{bi}} \quad (13.20)$$

siendo i la dirección de análisis X o Y

Se calculara para el caso 1 HDR:

$$f_{V_{sx}} = \frac{0,8 * 157399,77}{223289,04} = 0,705 \quad (13.21)$$

$$f_{V_{sy}} = \frac{0,8 * 157399,77}{215479,37} = 0,73 \quad (13.22)$$

$$f_{V_{bx}} = \frac{0,9 * 293457,38}{264320,25} = 1,11 \quad (13.23)$$

$$f_{V_{by}} = \frac{0,9 * 293457,38}{258312,68} = 1,136 \quad (13.24)$$

Los factores menores que 1.0 son los que ya cumplieron con la condición así que no se les toma en cuenta, sin embargo los factores mayores que 1.0 son los validos. En la tabla 13.8 se muestra los resultados para los demás casos.

Para uniformizar los resultados de los factores de escalamiento se usara un factor de 1,1 para los casos 2 y 4. Y un factor de 1,15 para los casos 1 y 3.

Tabla 13.8. Factores de escalamiento.

Caso	90 % * V_b	80 % * V_s
Caso1:HDR(x)	1.11	—
Caso1:HDR(y)	1.136	—
Caso2:LRB(x)	1.059	1.018
Caso2:LRB(y)	1.089	1.060
Caso3:HDR1+HDR2(x)	1.099	—
Caso3:HDR1+HDR2(y)	1.128	—
Caso4:HDR+LRB(x)	1.022	—
Caso4:HDR+LRB(y)	1.030	—

Tabla 13.9. Factores de escalamiento.

Caso	90 % * V_b	80 % * V_s
Caso1:HDR(x)	1.15	—
Caso1:HDR(y)	1.15	—
Caso2:LRB(x)	1.1	1.1
Caso2:LRB(y)	1.1	1.1
Caso3:HDR1+HDR2(x)	1.15	—
Caso3:HDR1+HDR2(y)	1.15	—
Caso4:HDR+LRB(x)	1.1	—
Caso4:HDR+LRB(y)	1.1	—

En la tabla 13.9 se muestran estos cambios.

Estos factores resultantes se aplicaran factorando el espectro de diseño de la figura 13.16. En la figura 13.19 se muestran los espectros factorados en comparación con el espectro original para el sistema de aislamiento.

Al escalar el espectro de diseño las fuerzas cortantes son mayores y los desplazamientos del sistema aislado también lo son. Se muestran en las tablas 13.10,13.11,13.12,13.13 las comparaciones con los nuevos parámetros escalados V_s , V_b , D_{TD} y D_{TM} respectivamente.

Se puede observar que en todos los casos se cumple con las condiciones establecidas.

Tabla 13.10. Verificación del corte basal de la superestructura en ton.

Verificación del corte basal V_s de la superestructura				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,8 * V_s$	157.39	189.83	155.74	178.72
V_{sx}	257.18	205.22	240.39	233.92
Condicion x	$V_{sx} > 0,8 * V_s$	$V_{sx} > 0,8 * V_s$	$V_{sx} > 0,8 * V_s$	$V_{sx} > 0,8 * V_s$
V_{sy}	248.18	197.01	231.23	229.18
Condicion y	$V_{sy} > 0,8 * V_s$	$V_{sy} > 0,8 * V_s$	$V_{sy} > 0,8 * V_s$	$V_{sy} > 0,8 * V_s$

Tabla 13.11. Verificación del corte basal de la subestructura en ton.

Verificación del corte basal V_b de la subestructura				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,9 * V_b$	293.45	233.60	271.43	257.19
V_{bx}	304.44	242.69	284.47	276.88
Condicion x	$V_{bx} > 0,9 * V_b$	$V_{bx} > 0,9 * V_b$	$V_{bx} > 0,9 * V_b$	$V_{bx} > 0,9 * V_b$
V_{by}	297.52	236.06	277.14	274.83
Condicion y	$V_{by} > 0,9 * V_b$	$V_{by} > 0,9 * V_b$	$V_{by} > 0,9 * V_b$	$V_{by} > 0,9 * V_b$

Tabla 13.12. Verificación del desplazamiento total de diseño D_{TD} del sistema de aislamiento en cm.

Verificación del desplazamiento total de diseño				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,9 * D_{TD}$	11.07	8.85	10.24	9.839
D_{TDx}	11.49	9.14	10.74	10.59
Cond. x	$D_{TDx} > 0,9D_{TD}$	$D_{TDx} > 0,9D_{TD}$	$D_{TDx} > 0,9D_{TD}$	$D_{TDx} > 0,9D_{TD}$
D_{TDy}	11.33	8.97	10.56	10.53
Cond. y	$D_{TDy} > 0,9D_{TD}$	$D_{TDy} > 0,9D_{TD}$	$D_{TDy} > 0,9D_{TD}$	$D_{TDy} > 0,9D_{TD}$

Es necesario aclarar que las estructuras calculadas con los espectros escalados serán utilizados para el diseño de los elementos estructurales tanto de la superestructura como de la subestructura como son: vigas, columnas, losas, pedestales y cimentaciones.

Para el control de las derivas de la estructura se utilizara el espectro

Tabla 13.13. Verificación del desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema de aislamiento en cm.

Verificación del desplazamiento total máximo				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,8 * D_{TM}$	14.76	11.80	13.65	13.12
D_{TMx}	17.24	13.71	16.11	15.89
Cond. x	$D_{TMx} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8D_{TM}$
D_{TMy}	17.00	13.46	15.84	15.80
Cond. y	$D_{TMy} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMy} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMy} > 0,8D_{TM}$	$D_{TMy} > 0,8D_{TM}$

sin escalar.

b) Derivas en la superestructura:

para el caso del análisis modal espectral las derivas elasticas en los pisos de la superestructura no debe exceder a $0,015/R_I$ siendo R_I el factor de reducción sísmica para el sistema aislado que es equivalente a 2.0. En este caso la deriva máxima elástica es de 0.0075.

Se cumple esta condición para los cuatro casos. En las tablas 13.14,13.15,13.16 y 13.17.

Tabla 13.14. Verificación de derivas en superestructura caso HDR.

Verificación de derivas caso HDR			
Piso	$0.015/R_I$	Deriva x	Deriva y
4	0.0075	0.0038	0.0053
3	0.0075	0.0039	0.0052
2	0.0075	0.0039	0.0052
1	0.0075	0.0036	0.0051

4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS.

Se tiene a continuación los siguientes resultados:

a) Periodos de la Estructura.

Los periodos resultantes de acuerdo a cada caso de aislamiento y de la estructura empotrada se muestra en la tabla 13.18

Tabla 13.15. Verificación de derivas en superestructura caso LRB.

Verificación de derivas caso LRB			
Piso	$0.015/R_f$	Deriva x	Deriva y
4	0.0075	0.0032	0.0045
3	0.0075	0.0032	0.0043
2	0.0075	0.0032	0.0043
1	0.0075	0.0031	0.0042

Tabla 13.16. Verificación de derivas en superestructura caso HDR1+HDR2.

Verificación de derivas caso HDR1+HDR2			
Piso	$0.015/R_f$	Deriva x	Deriva y
4	0.0075	0.0036	0.0050
3	0.0075	0.0036	0.0048
2	0.0075	0.0036	0.0048
1	0.0075	0.0034	0.0047

Tabla 13.17. Verificación de derivas en superestructura caso HDR+LRB.

Verificación de derivas caso HDR+LRB			
Piso	$0.015/R_f$	Deriva x	Deriva y
4	0.0075	0.0023	0.0034
3	0.0075	0.0023	0.0032
2	0.0075	0.0024	0.0032
1	0.0075	0.0023	0.0032

Se puede concluir para los tres casos, que los períodos fundamentales de la estructura aislada (periodo 1) se aproximan a los periodos considerados en el diseño del sistema de aislamiento (T de diseño).

Los tres primeros periodos corresponden a los grados de libertad X-X,Y-Y y el sentido rotacional que están ubicados en la interfaz de aislamiento.

El mayor de ellos se da en el sentido X-X, por tener la mayor participación modal, luego esta el sentido Y-Y y el rotacional.

Al tener a los tres primeros periodos como los mas predominantes en comparación a los demás , se concentra la casi totalidad de la respuesta

Tabla 13.18. Periodos de la estructura aislada en segundos.

Periodos de la estructura aislada					
N periodo	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB	Fijo
1	2.049	2.046	2.049	2.061	0.426
2	2.022	2.02	2.022	2.027	0.24
3	1.80	1.798	1.80	1.788	0.199
4	0.28	0.28	0.28	0.285	0.127
5	0.148	0.147	0.148	0.147	0.079
6	0.124	0.124	0.124	0.124	0.069
7	0.102	0.102	0.102	0.102	0.065
8	0.066	0.066	0.066	0.066	0.051
9	0.062	0.062	0.062	0.062	0.048
10	0.051	0.051	0.051	0.051	0.039
11	0.050	0.050	0.050	0.050	0.039
12	0.045	0.045	0.045	0.045	0.033
13	0.038	0.038	0.038	0.038	0.032
14	0.037	0.037	0.037	0.037	0.024
15	0.033	0.033	0.033	0.033	0.021

en la interfaz de aislamiento, ya que los modos superiores no tienen mucha relevancia en el movimiento de la estructura demostrando la efectividad del aislamiento. Mientras que la superestructura permanece como si fuera un cuerpo rígido.

Estos periodos no son exactamente igual a 2.00 debido a que las rigideces de los aisladores no son exactamente iguales a las rigideces proyectadas al inicio.

b) Desplazamiento del Sistema de Aislamiento.

Los resultados de los desplazamientos de la interfaz de aislamiento se da en la tabla 13.19

Como se puede observar los desplazamientos calculados son menores a los desplazamiento de diseño, cumpliéndose con esta condición.

En las figuras 13.20, 13.21, 13.22 y 13.23 se muestran los periodos funda-

Tabla 13.19. Desplazamiento de la interfaz de aislamiento en cm.

Desplazamiento de interfaz de aislamiento				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
D_D de diseño	11.182	8.945	10.343	9.939
D_x calculado	9.074	7.552	8.479	8.754
D_y calculado	8.945	7.415	8.337	8.706

mentales y los desplazamientos resultantes en el programa etabs para los casos: Solo HDR, Solo LRB ,combinación HDR1+HDR2 y combinación HDR y LRB respectivamente.

c) *Desplazamientos relativos de la estructura.*

En la tabla13.20 se muestra los desplazamientos relativos para cada uno de los casos de análisis y por cada piso.

Tabla 13.20. Desplazamientos relativos por piso y caso de aislamiento en cm.

PISO	HDR		LRB		HDR1+HDR2		HDR+LRB		FIJO	
Nro	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy
4	9.82	9.45	8.17	7.85	9.17	8.82	9.64	9.19	5.74	1.84
3	10.12	9.24	8.42	7.67	9.45	8.62	9.69	9.01	4.71	1.53
2	9.57	9.12	7.97	7.56	8.94	8.50	9.27	8.89	3.25	1.11
1	9.33	9.05	7.76	7.50	8.71	8.43	9.02	8.81	1.52	0.59
0	9.07	8.95	7.55	7.42	8.48	8.34	8.75	8.71	0.0	0.0

Con los fines de comparar y verificar la efectividad del aislamiento con respecto a la estructura empotrada, se incluye los desplazamientos de la estructura empotrada.

Para poder tener un solo nivel de comparación de desplazamientos se aplicara el mismo espectro de la estructura aislada de la figura 13.16 hacia la estructura empotrada original y así obtener los desplazamientos de comparación. Cabe resaltar que este proceso solo se hace con fines comparativos y no son validos para el diseño de la estructura convencional, pues este ya ha sido realizado en capítulos anteriores.

En la figura 13.24 se muestra los gráficos de los desplazamientos relativos

por cada piso contra el desplazamiento de la estructura empotrado.

Como se muestra en la figura 13.24 el mayor desplazamiento se da en todos los casos en el sistema de aislamiento, teniendo a los demás pisos superiores con desplazamientos mínimos.

En el caso de la estructura empotrada se muestra la curva típica del desplazamiento de cada piso. En una estructura empotrada la disipación de energía se da con el desplazamiento de cada uno de sus pisos, sin embargo para una estructura aislada se da primordialmente con el desplazamiento de su sistema de aislamiento.

Para poder observar la diferencia de los desplazamientos netos de la estructura empotrada y la aislada, se descontara el desplazamiento del sistema de aislamiento de los desplazamiento relativos. Así se tiene la tabla 13.21 con los desplazamientos relativos descontados.

Tabla 13.21. Desplazamientos relativos descontados por piso y caso de aislamiento en cm.

PISO	HDR		LRB		HDR1+HDR2		HDR+LRB		FIJO	
Nro	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy
4	0.74	0.50	0.62	0.44	0.69	0.48	0.88	0.48	5.74	1.84
3	1.04	0.30	0.87	0.26	0.97	0.28	0.94	0.30	4.71	1.53
2	0.50	0.17	0.41	0.15	0.46	0.16	0.52	0.18	3.25	1.11
1	0.25	0.10	0.21	0.09	0.24	0.10	0.26	0.11	1.52	0.59
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

En la figura 13.25 se muestra los gráficos de los desplazamientos relativos descontados por cada piso contra el desplazamiento de la estructura empotrado.

Y en la tabla 13.22 se muestra los porcentajes de reducción de desplazamientos.

Como se observa en la figura 13.25 los desplazamientos de la estructura empotrada son mucho mayores a los desplazamiento de la estructura aislada.

La reducción de los desplazamientos es considerable como lo mostrado en la tabla 13.22. Estos están en el rango del 72.67 a 89.22 % de reducción.

Tabla 13.22. Porcentajes de reducción de desplazamientos en %.

PISO	HDR		LRB		HDR1+HDR2		HDR+LRB	
Nro	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy
4	87.06	72.67	89.22	76.25	87.91	74.08	84.64	73.75
3	77.87	80.69	81.57	83.25	79.32	81.74	80.12	80.37
2	84.70	84.36	87.25	86.53	85.71	85.26	84.14	83.45
1	83.41	82.48	86.18	85.03	84.53	83.50	82.75	82.14
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Esto demuestra la efectividad del sistema de aislamientos en la estructura.

Los desplazamientos en la superestructura esta en función al desplazamiento de diseño, quiere decir que para el caso HDR que tiene el mayor valor se tiene mayores desplazamientos.

Y para el caso LRB que tiene el menor desplazamiento de diseño se tiene los menores desplazamientos de la superestructura.

d) Corte basal en la estructura.

Se realiza una comparación del corte basal de la estructura empotrada con el de la estructura aislada obteniéndose los resultados de la tabla 13.23

Tabla 13.23. Corte basal de estructura empotrada y aislada en ton.

PISO	HDR		LRB		HDR1+HDR2		HDR+LRB		FIJO	
Nro	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy
4	25.11	23.15	21.13	19.29	23.54	21.59	24.16	22.33	387.29	365.30
3	100.84	92.97	84.53	77.36	94.40	86.66	95.79	89.84	1190.02	1176.32
2	164.10	155.14	137.27	129.00	153.49	144.57	156.11	149.89	1629.23	1648.07
1	223.29	215.48	186.48	179.07	208.72	200.76	212.52	208.28	1923.23	1970.58

En la figura 13.26 se muestra el gráfico de las comparaciones del corte basal para cada caso de aislamiento y la estructura empotrada.

Para poder tener un solo nivel de comparación de cortes basales se aplica para los casos aislados el espectro de aislamiento mostrado en la figura 13.16 (no escalado) y para el caso de la estructura empotrada original también es aplicado este mismo espectro.

Así se obtendrán los cortes basales de comparación. Cabe resaltar que este proceso solo se hace con fines comparativos y no son validos para el diseño de la estructura convencional, pues este ya ha sido realizado en capítulos anteriores.

Ademas en la tabla 13.24 se observan los porcentajes de reducción de corte basal con respecto a la estructura fija.

Tabla 13.24. Porcentajes de reducción de corte basal en %.

PISO	HDR		LRB		HDR1+HDR2		HDR+LRB	
Nro	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy
4	93.52	93.66	94.22	94.72	93.92	94.09	93.76	93.89
3	91.53	92.10	92.81	93.42	92.07	92.63	91.95	92.36
2	89.93	90.59	91.67	92.17	90.58	91.23	90.42	90.90
1	88.39	89.07	90.54	90.91	89.15	89.81	88.95	89.43

Como se observa en la figura 13.26 el corte basal en los cuatro casos es reducida considerablemente. Esta reducción del corte basal colabora a la estructura a generar menores esfuerzos en sus elementos.

En la tabla 13.24 se observa que los porcentajes de reducción de corte basal para todos los casos están en el rango de 88.39 % a 94.72 %. Esto demuestra la efectividad del sistema de aislamientos en la estructura.

Los cortes basales en la superestructura esta en función al desplazamiento de diseño, quiere decir que para el caso HDR que tiene el mayor valor se tiene mayores cortes basales.

Y para el caso LRB que tiene el menor desplazamiento de diseño se tiene los menores cortes basales de la superestructura.

13.3. Análisis Tiempo Historia.

Según el *reglamento ASCE-SEI 7-10* algunas indicaciones acerca de este método son las siguientes:

Este método es aplicable para cualquier tipo de estructura aislada en cualquiera

de las condiciones existentes.

se deben usar, al menos, tres pares apropiados de registros de componentes horizontales.

En el caso de utilizar 3 pares de registros el mayor de estos 3 valores se toma como el espectro de diseño, en el caso de que se usen 7 o más pares de registros se puede tomar como espectro de diseño el promedio de estos. Este método puede ser utilizado para cualquier estructura con aislación sísmica.

Una vez obtenido los pares de registros horizontales, se debe construir los espectros de pseudoaceleración con un amortiguamiento de $\beta = 0,05$.

Cada pareja de espectros son combinados con el método (SRSS).

Luego los espectros originales deben ser modificados de manera que el promedio de los espectros de respuesta combinados con SRSS para las parejas de registros no sea menor que $(1,3 - 0,1 * 1,3)$ veces el espectro de sismo de diseño para $\beta = 0,05$. Esto es aplicable solo para el rango de periodo de $0,5 T_D$ a $1,25 T_D$.

El *reglamento RNE E-030* establece el uso mínimo de cinco pares de registros. Estos registros deberán ser normalizados de manera que la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio.

Debido a la gran variabilidad de las respuestas de la estructura a eventos sísmicos registrados. Se han seleccionado siete pares de registros sísmicos considerados como algunos de los mas relevantes de la historia sísmica del Perú. Y así obtener los resultados promedio.

- Sismo de Lima con fecha 31-01-1951
- Sismo de Lima con fecha 03-10-1966
- Sismo de Lima con fecha 31-05-1970
- Sismo de Lima con fecha 29-11-1971
- Sismo de Lima con fecha 03-10-1974

- Sismo de Arequipa con fecha 13-06-2005
- Sismo de Pisco con fecha 15-10-2007

En el Anexo C se muestran la lista y los datos de cada uno de estos registros.

El análisis Tiempo Historia sigue el siguiente procedimiento.

1. *NORMALIZACION DE REGISTROS SÍSMICOS.*

Debido a que estos registros han sido obtenidos en diferentes lugares es necesario **Normalizar los registros**, llevando el valor máximo de cada registro a $0,3g$ que es la aceleración máxima correspondiente a la zona 2.

Como parte del resultado de la aplicación de este método se tiene las gráficas de la aceleración versus el tiempo de los registros normalizados para cada una en las dos direcciones de análisis.

Ver las figuras 13.27 para el sismo de Lima 1951, 13.28 para el sismo de Lima 1966, 13.29 para el sismo de Lima 1970, 13.30 para el sismo de Lima 1971, 13.31 para el sismo de Lima 1974, 13.32 para el sismo de Arequipa 2005 y 13.33 para el sismo de Pisco 2007.

WILLY

GOMEZ

ESPECTRO DE DISEÑO SISMO RESISTENTE - AISLACION

PROYECTO :

PROPIETARIO :

UBICACIÓN :

DIRECCION :

FECHA :

DEPARTAMENTO :

AYACUCHO

PROVINCIA :

HUAMANGA

19 Enero 2015

ASPECTOS GENERALES DE LA EDIFICACION

TIPO DE EDIFICACION :

CENTRO EDUCATIVO

ALTURA DE LA EDIFICACION :

19.00 m

TERRENO DE FUNDACION

ESFUERZO ADMISIBLE DEL TERRENO :

PROFUNDIDAD DE CIMENTACION :

Df = 1.50 m

ASPECTOS SISMO RESISTENTES - ESPECTRO DE RESPUESTA

PARAMETROS	VALORES	
CATEGORIA DE EDIFICACION	A	U = 1.00
ZONA SISMICA	2	Z = 0.30
TIPO DE SUELO	S2	S = 1.20
		TP= 0.60
FACTOR DE REDUCCION SISMICA	R	R = 1.00

$$S_{a(x,T)} = \frac{ZUCS}{R_{(x,T)}} xg \quad (Aceleración Espectral)$$

$$C = 2.5x \frac{T_p}{T}; \quad C \leq 2.5 \quad (C = Factor de Amplificación Sísmica)$$

ESPECTRO DE ACELERACION DINAMICA

T (s)	C	Sax	Say
		ZUCS/RX	ZUCS/Ry
0.00	2.50	0.9000	0.9000
0.10	2.50	0.9000	0.9000
0.20	2.50	0.9000	0.9000
0.30	2.50	0.9000	0.9000
0.40	2.50	0.9000	0.9000
0.50	2.50	0.9000	0.9000
0.60	2.50	0.9000	0.9000
0.70	2.14	0.7714	0.7714
0.80	1.88	0.6750	0.6750
0.90	1.67	0.6000	0.6000
1.00	1.50	0.5400	0.5400
1.50	1.00	0.3600	0.3600
2.00	0.75	0.2700	0.2700
2.50	0.60	0.2160	0.2160
2.60	0.58	0.2077	0.2077
2.70	0.56	0.2000	0.2000
2.80	0.54	0.1929	0.1929
2.90	0.52	0.1862	0.1862
3.00	0.50	0.1800	0.1800
3.10	0.48	0.1742	0.1742
3.20	0.47	0.1688	0.1688
3.30	0.45	0.1636	0.1636
3.40	0.44	0.1588	0.1588
3.50	0.43	0.1543	0.1543
4.00	0.38	0.1350	0.1350
4.50	0.33	0.1200	0.1200
5.00	0.30	0.1080	0.1080
5.50	0.27	0.0982	0.0982
6.00	0.25	0.0900	0.0900
6.50	0.23	0.0831	0.0831
7.00	0.21	0.0771	0.0771
7.50	0.20	0.0720	0.0720
8.00	0.19	0.0675	0.0675
8.50	0.18	0.0635	0.0635
9.00	0.17	0.0600	0.0600
9.50	0.16	0.0568	0.0568
10.00	0.15	0.0540	0.0540

ESPECTRO DE SISMO PARA AISLAMIENTO E 030 - ASCE SEI 7-10

Figura 13.15. Planilla de calculo del espectro de diseño sísmico para la estructura aislada.

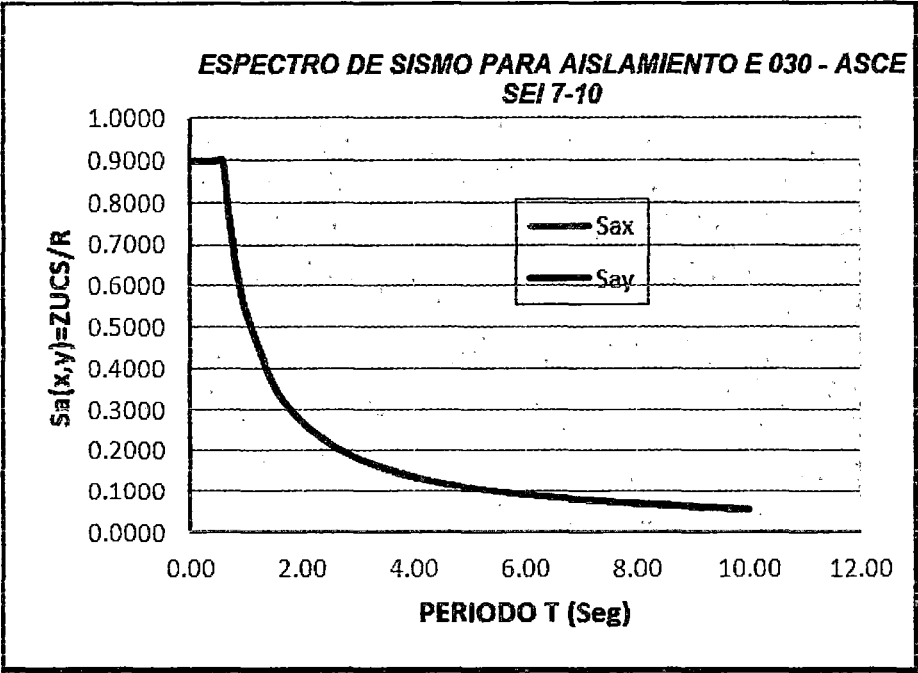


Figura 13.16. Espectro de diseño resultante.

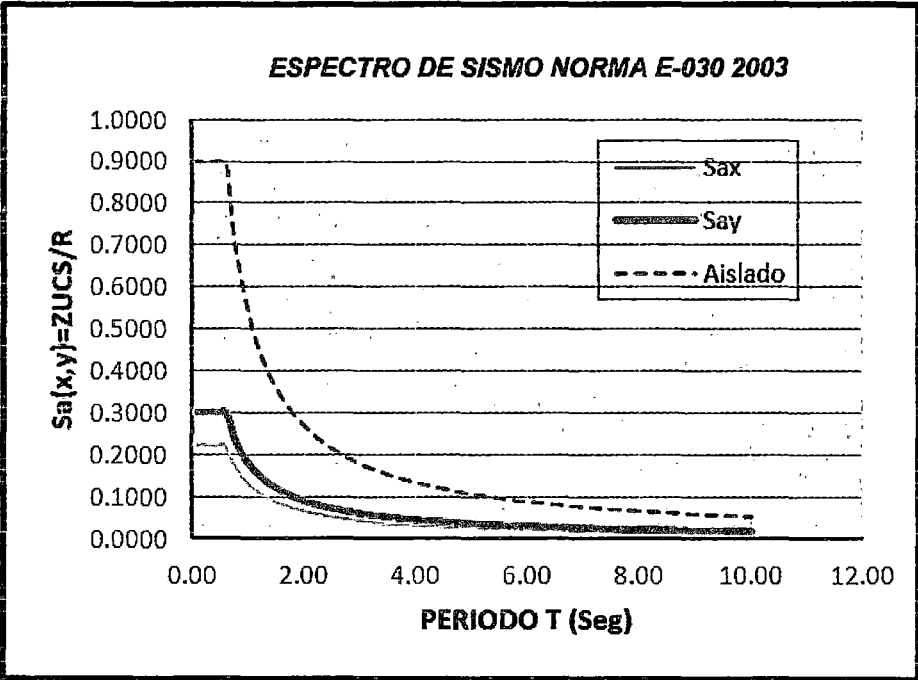


Figura 13.17. Comparación de espectros E-030 y del sistema aislado.

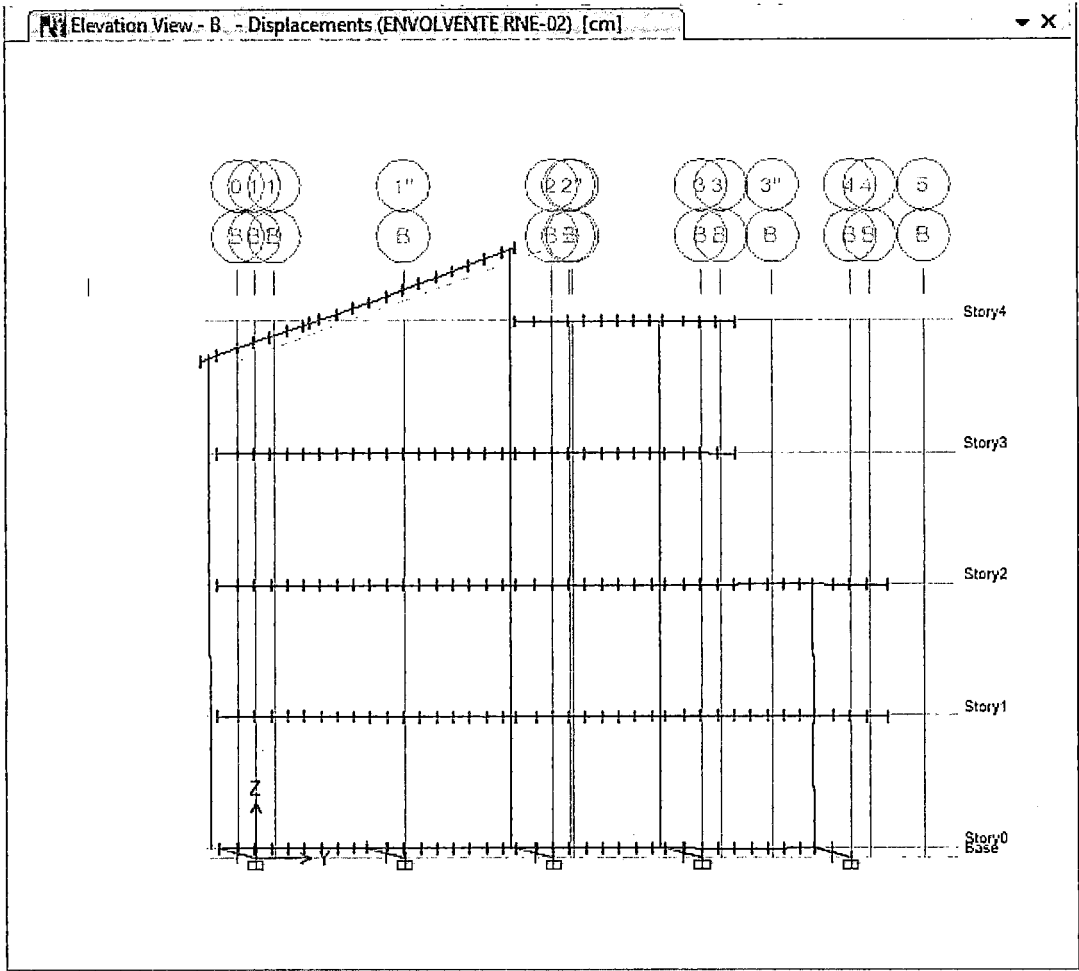


Figura 13.18. Análisis modal espectral de estructura aislada

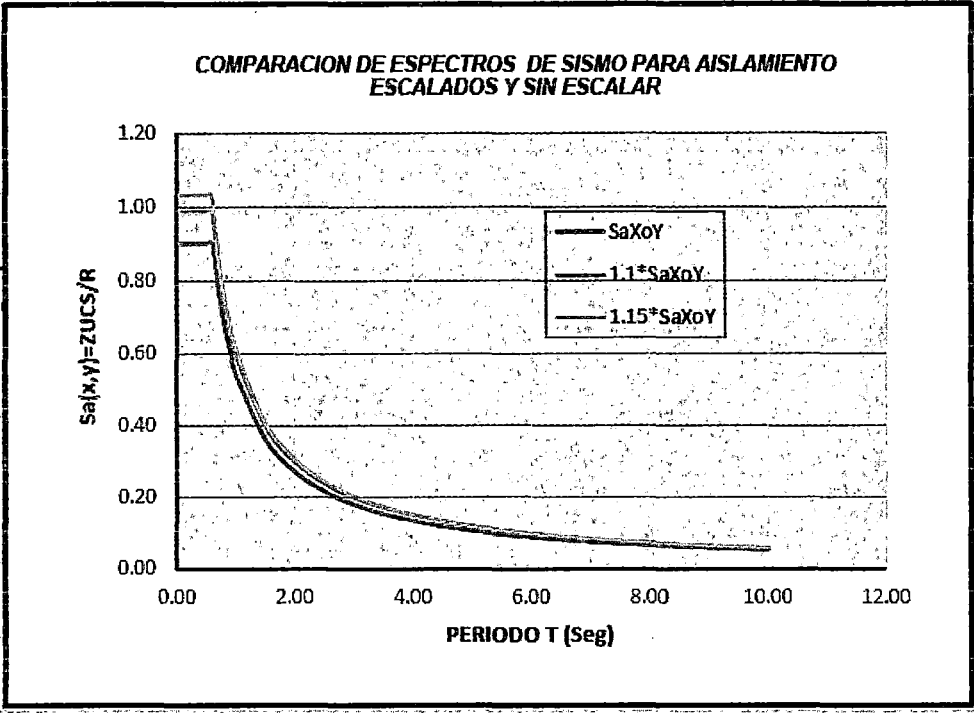


Figura 13.19. Espectros factorados en comparación con el espectro original del sistema de aislamiento.

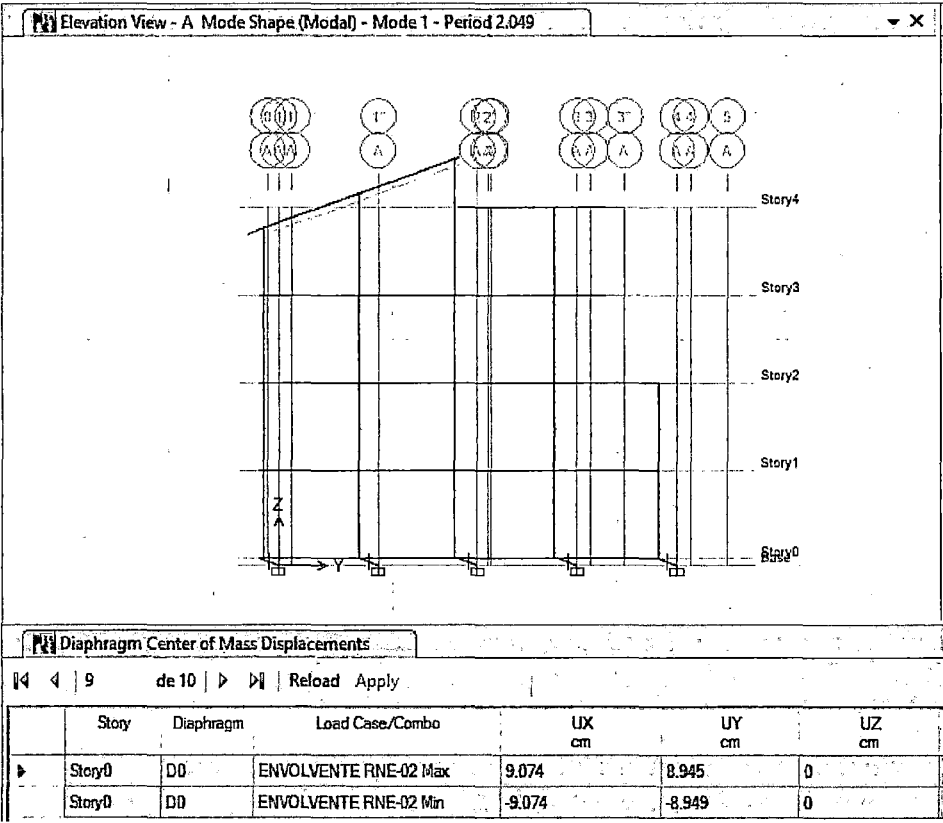


Figura 13.20. Desplazamiento y periodo fundamental para sistema aislado con HDR.

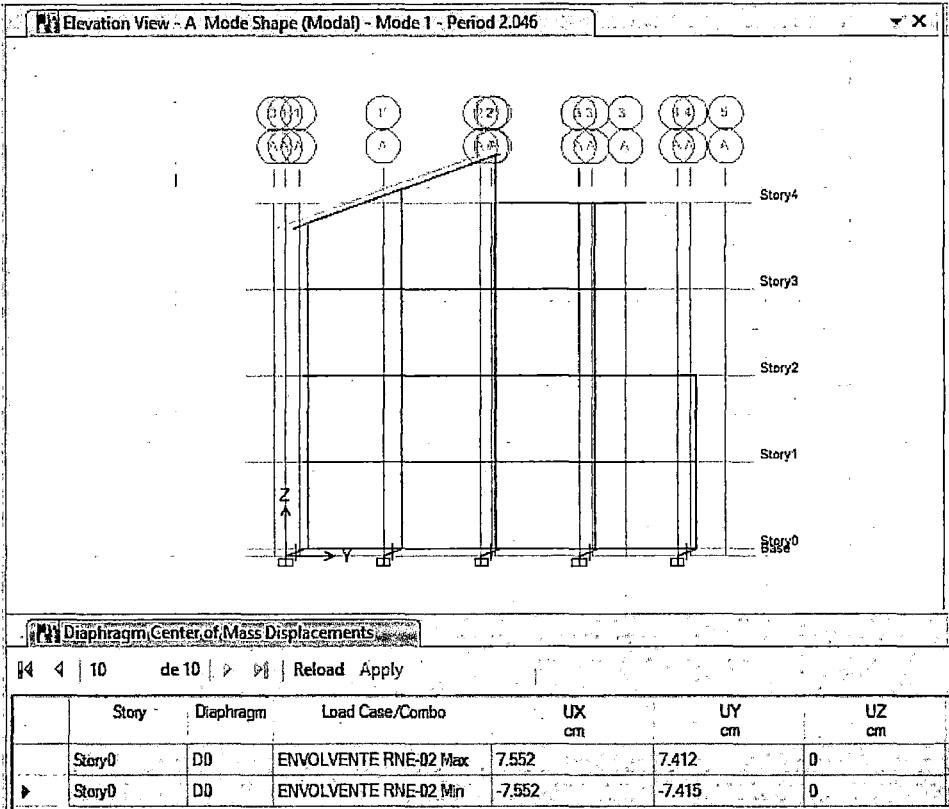


Figura 13.21. Desplazamiento y periodo fundamental para sistema aislado con LRB.

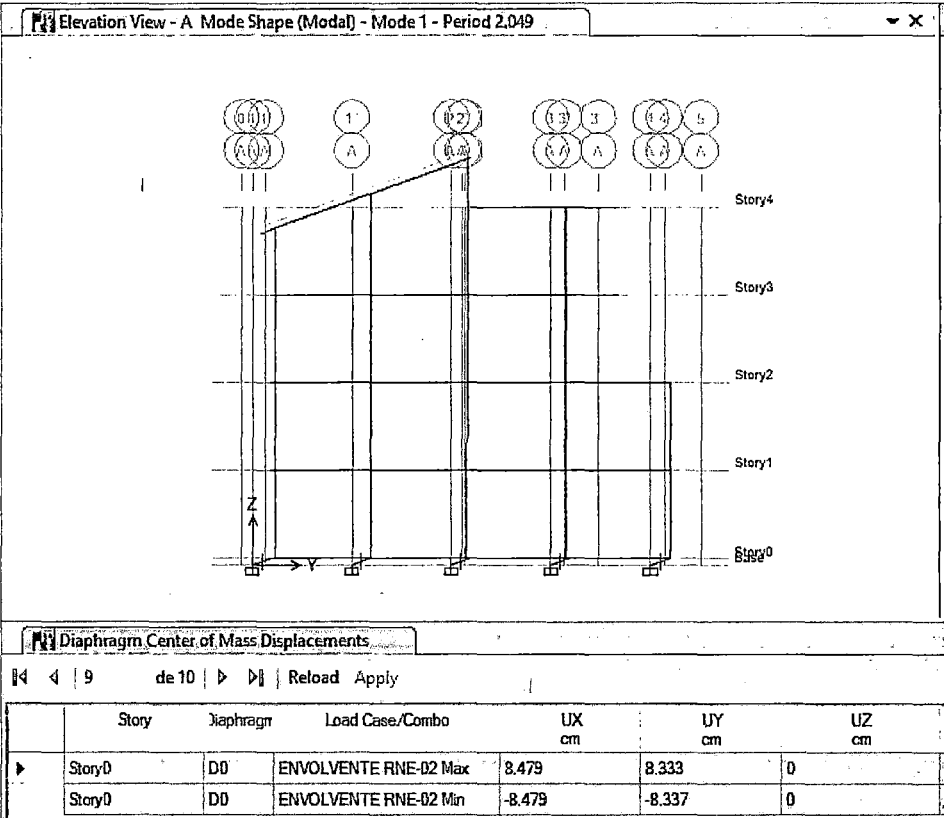


Figura 13.22. Desplazamiento y periodo fundamental para sistema aislado con HDR1 y HDR2.

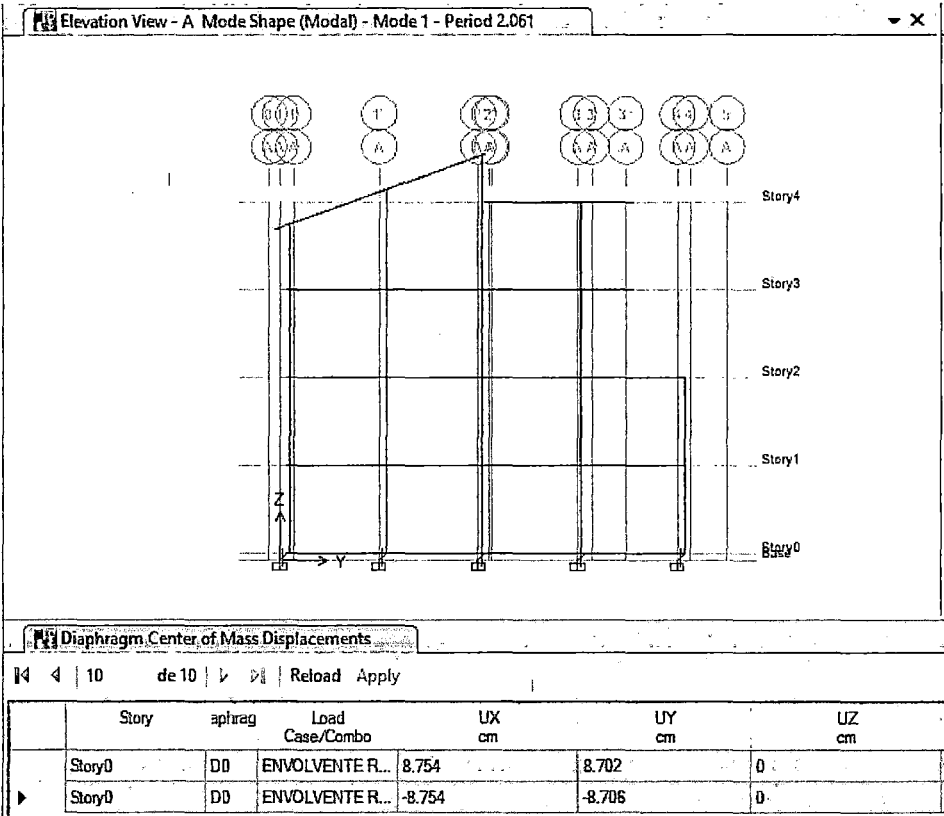


Figura 13.23. Desplazamiento y periodo fundamental para sistema aislado con HDR y LRB.

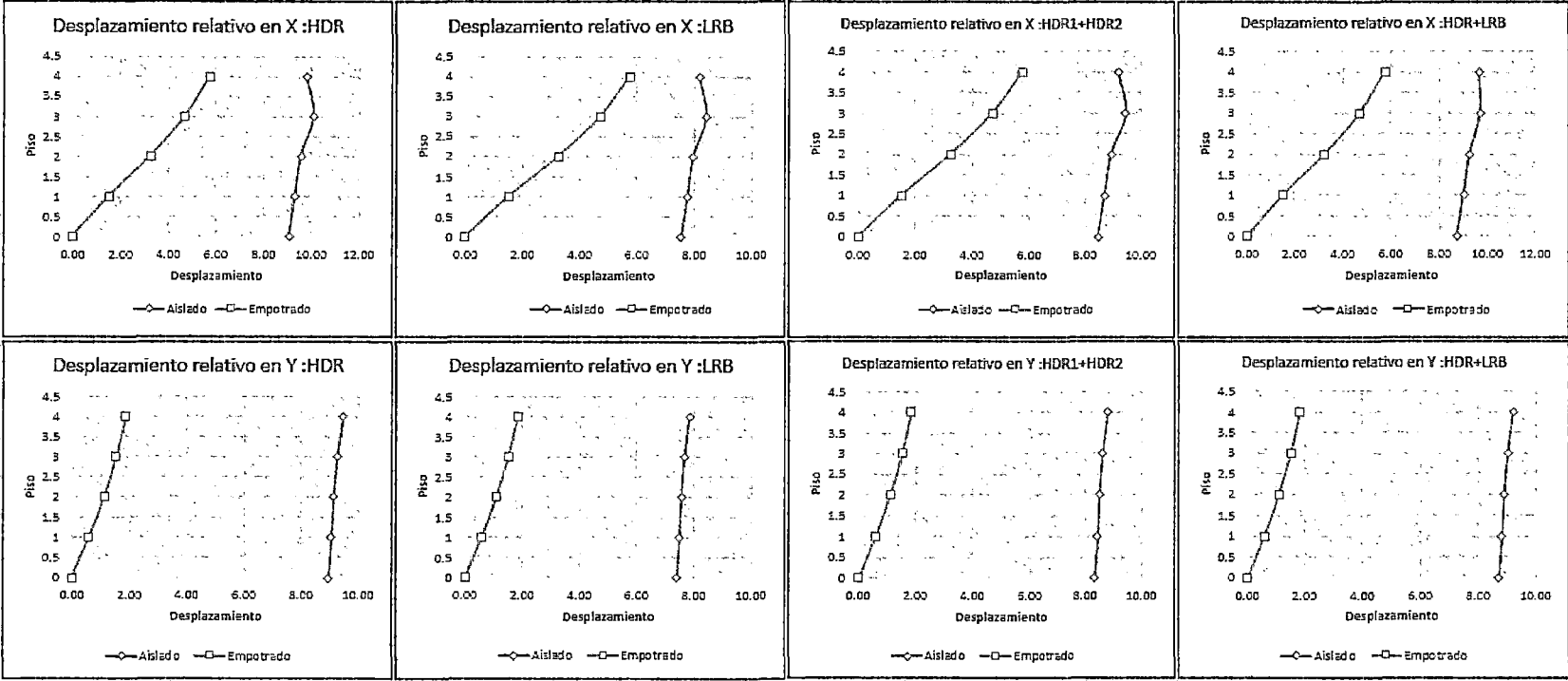


Figura 13.24. Gráfico de desplazamiento relativo por cada piso aislado contra empotrado.

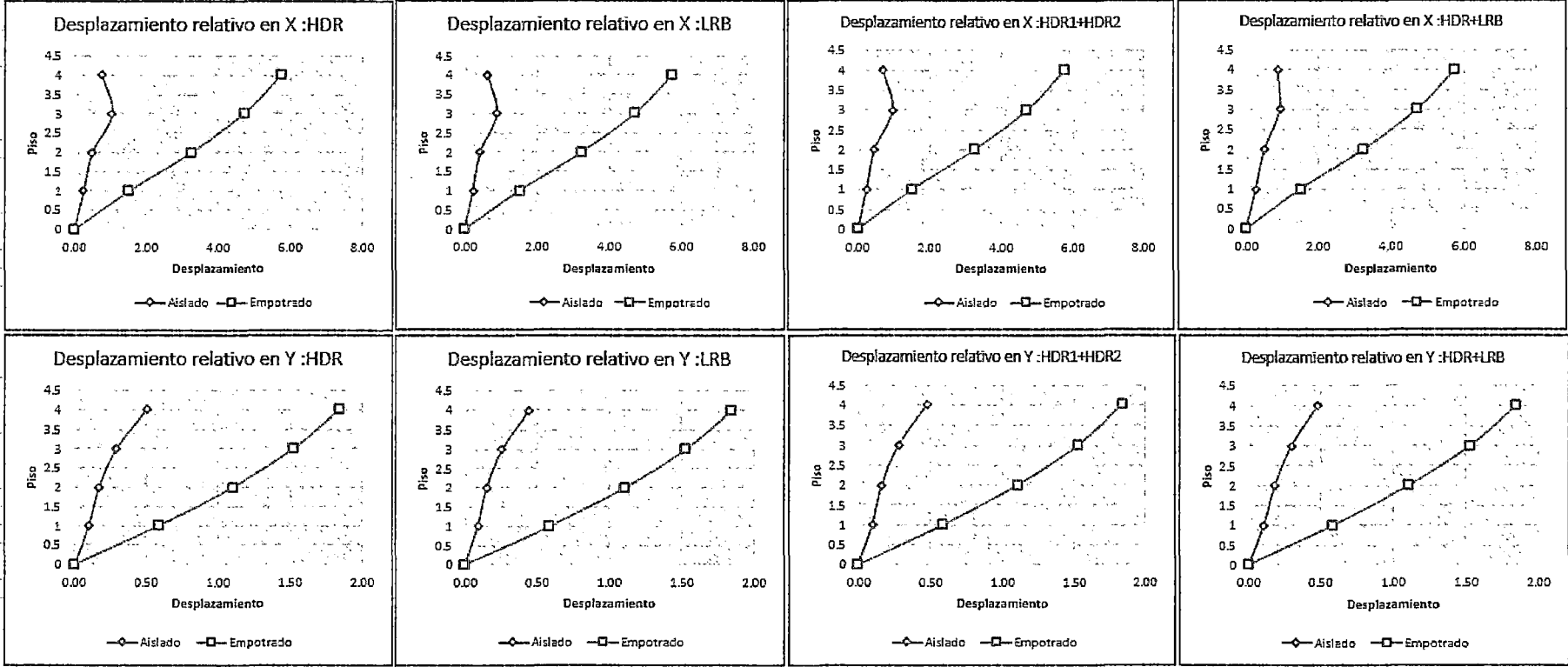


Figura 13.25. Gráfico de desplazamiento relativo descontado por cada piso aislado contra empujado

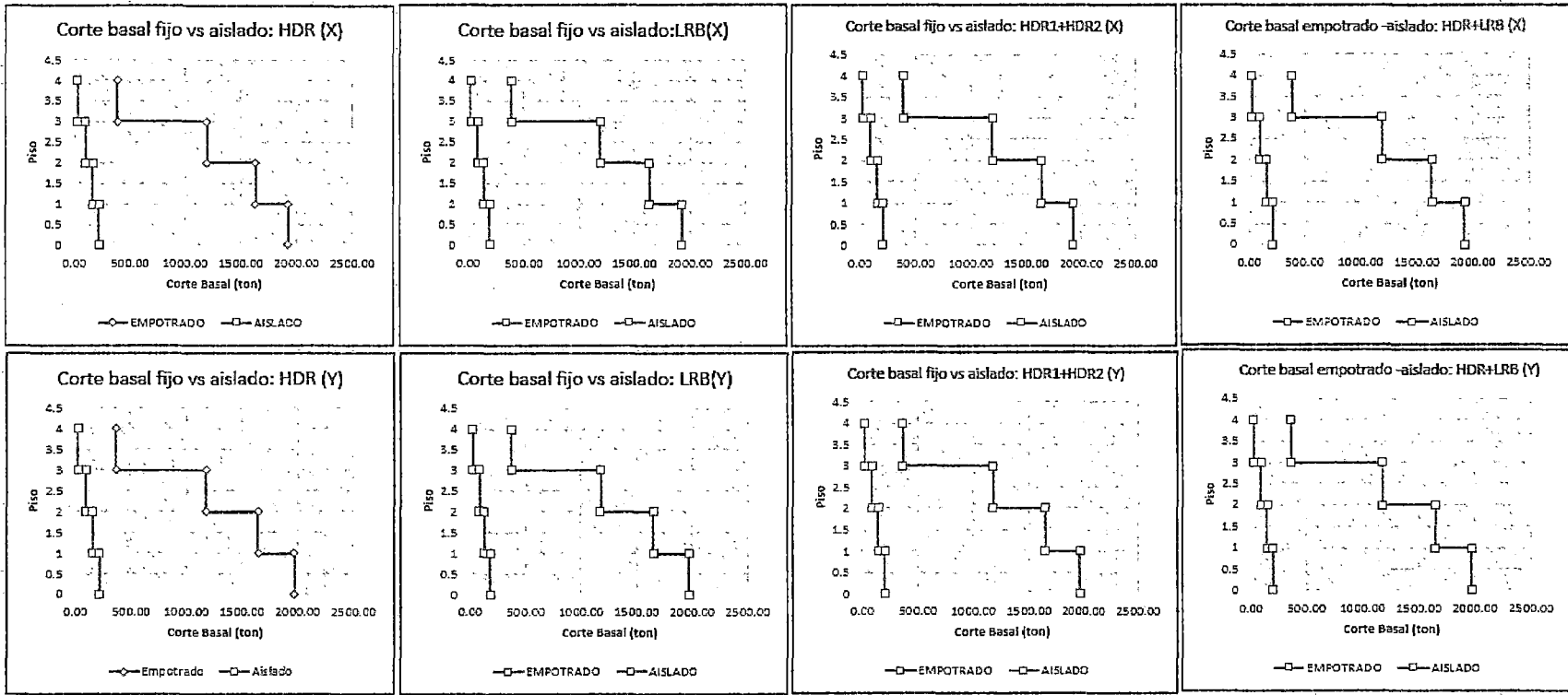


Figura 13.26. Gráfico de cortante basal por cada piso aislado contra empotrado.

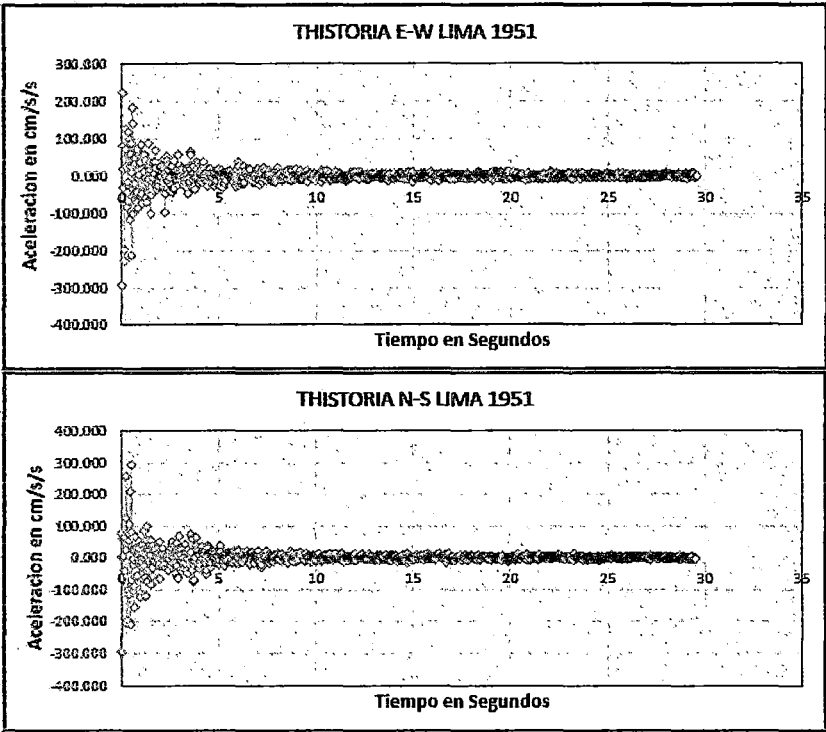


Figura 13.27. Registro Lima 1951 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.

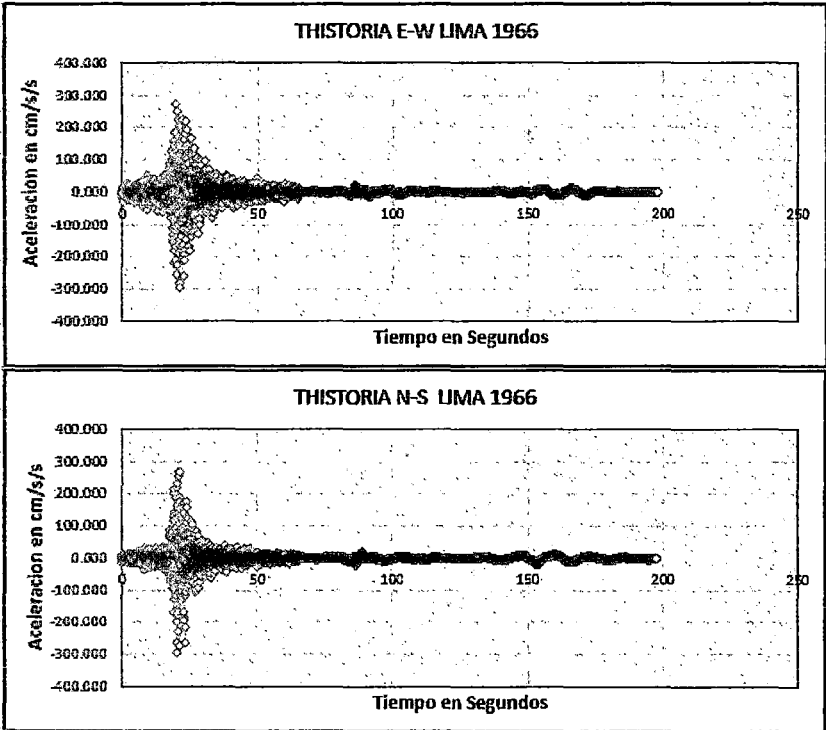


Figura 13.28. Registro Lima 1966 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.

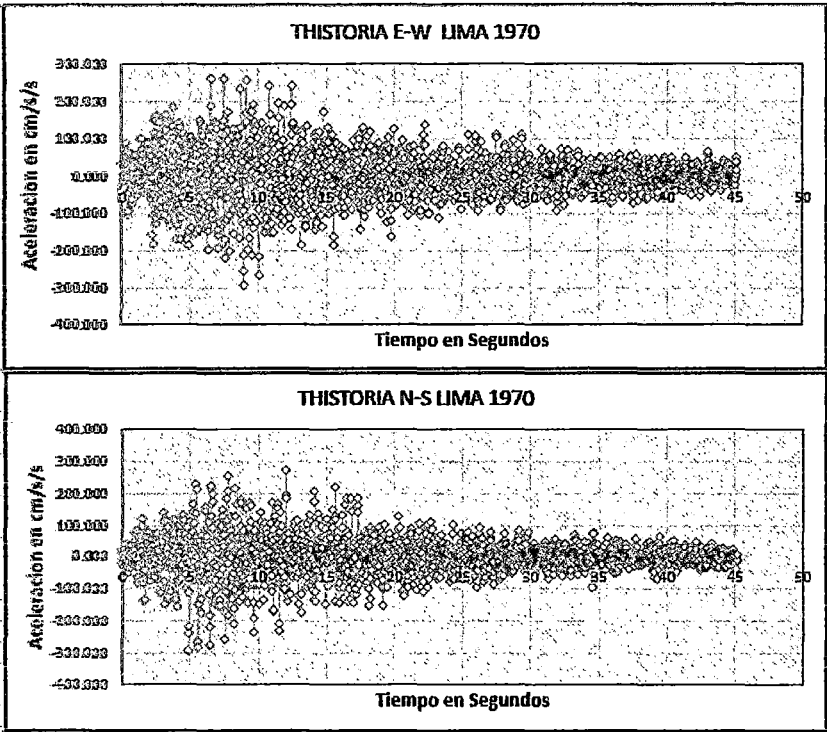


Figura 13.29. Registro Lima 1970 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.

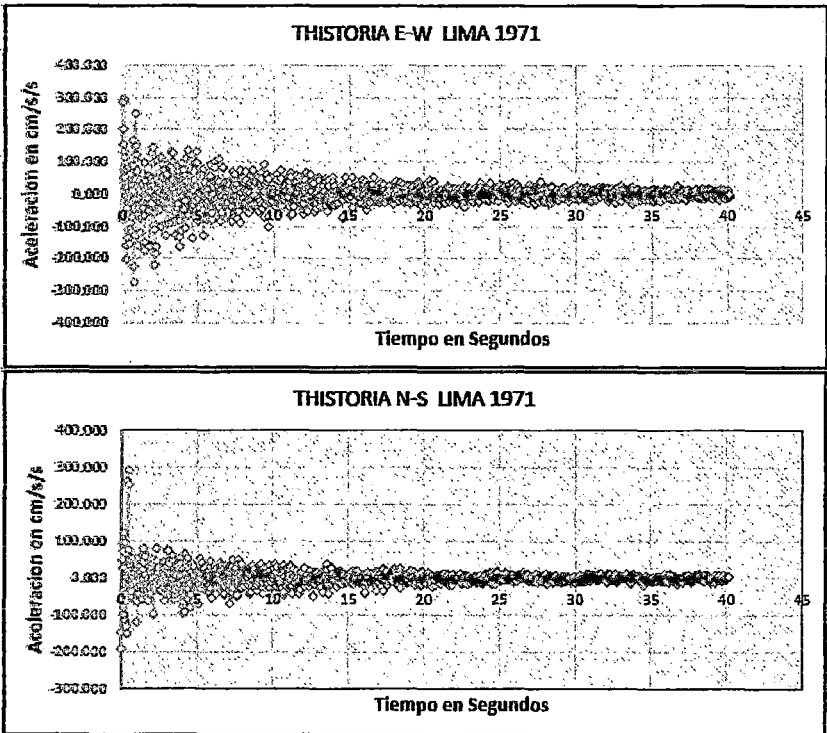


Figura 13.30. Registro Lima 1971 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.

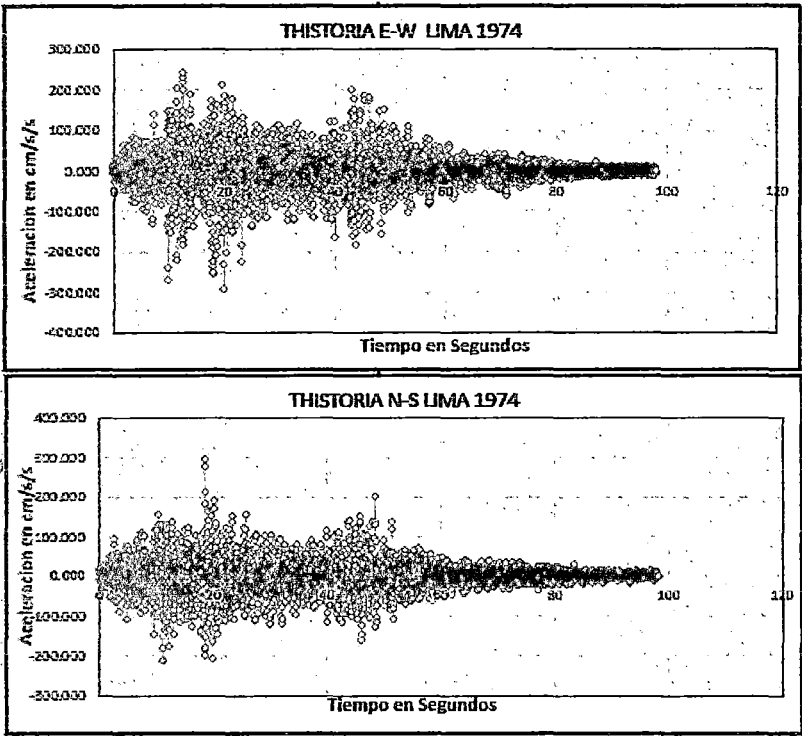


Figura 13.31. Registro Lima 1974 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.

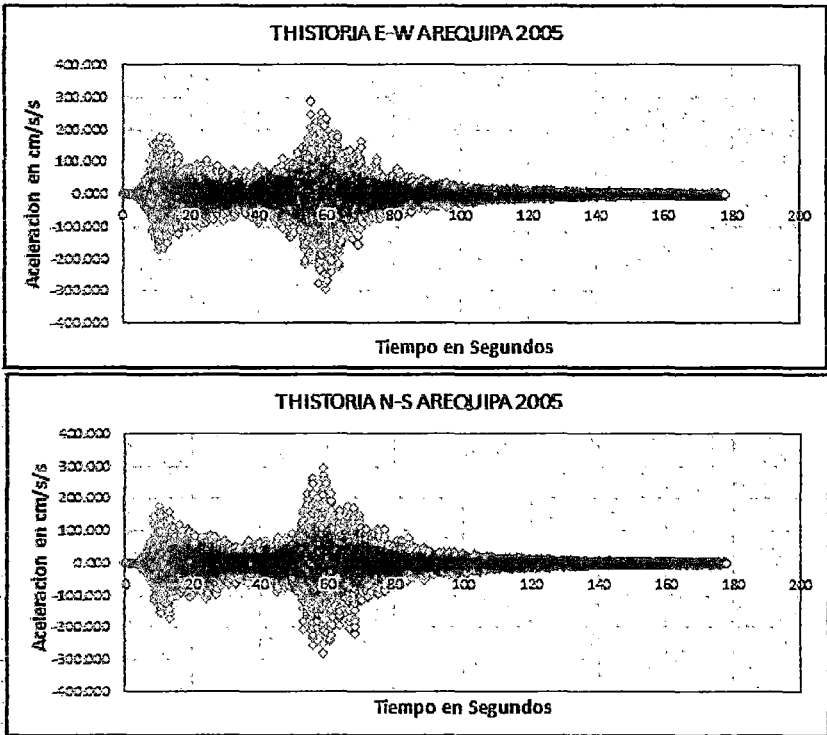


Figura 13.32. Registro Arequipa 2005 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.

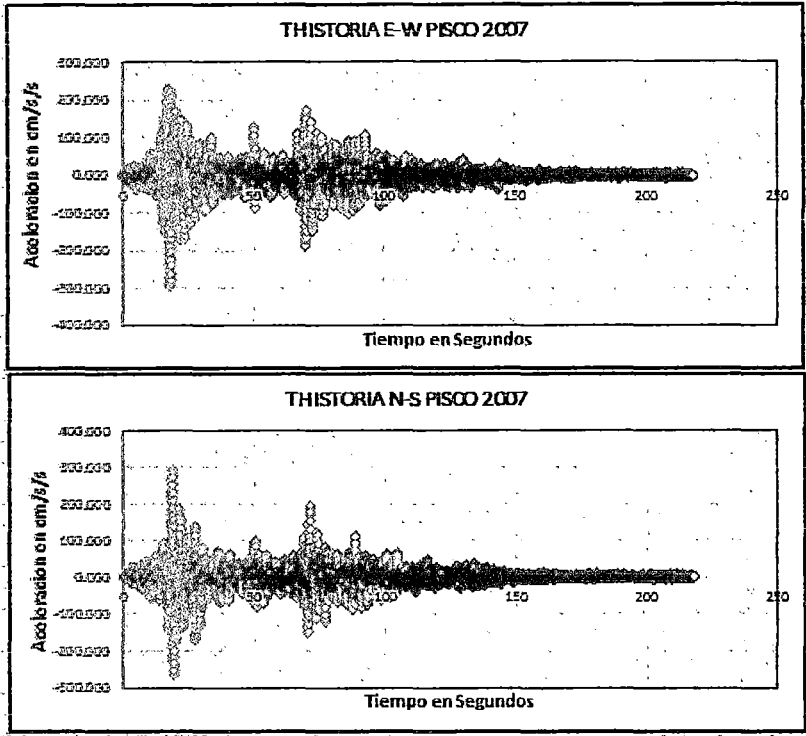


Figura 13.33. Registro Pisco 2007 en las direcciones E-W y N-S normalizado al sismo máximo de la ciudad de Ayacucho.

2. *ESCALAMIENTO DE REGISTROS SÍSMICOS.*

a) *Espectros de pseudoaceleración.*

Con los registros sísmicos seleccionados se construyen los espectros de pseudoaceleración para cada dirección X e Y con un amortiguamiento de $\beta = 5\%$.

Con el uso del programa Degtra [3] se obtuvo los espectros requeridos los cuales son mostrados en las figuras 13.34 y 13.35.

b) *Combinación de parejas de espectros con el método SRSS.*

Cada pareja de espectros fueron combinados con el método (SRSS). Esta combinación tiene la siguiente formulación:

$$S_{srss} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \tag{13.25}$$

Luego se obtiene el promedio de las 7 combinaciones realizadas.

$$S_{srss_{prom}} = \frac{S_{srss1} + S_{srss2} + \dots S_{srss7}}{7} \tag{13.26}$$

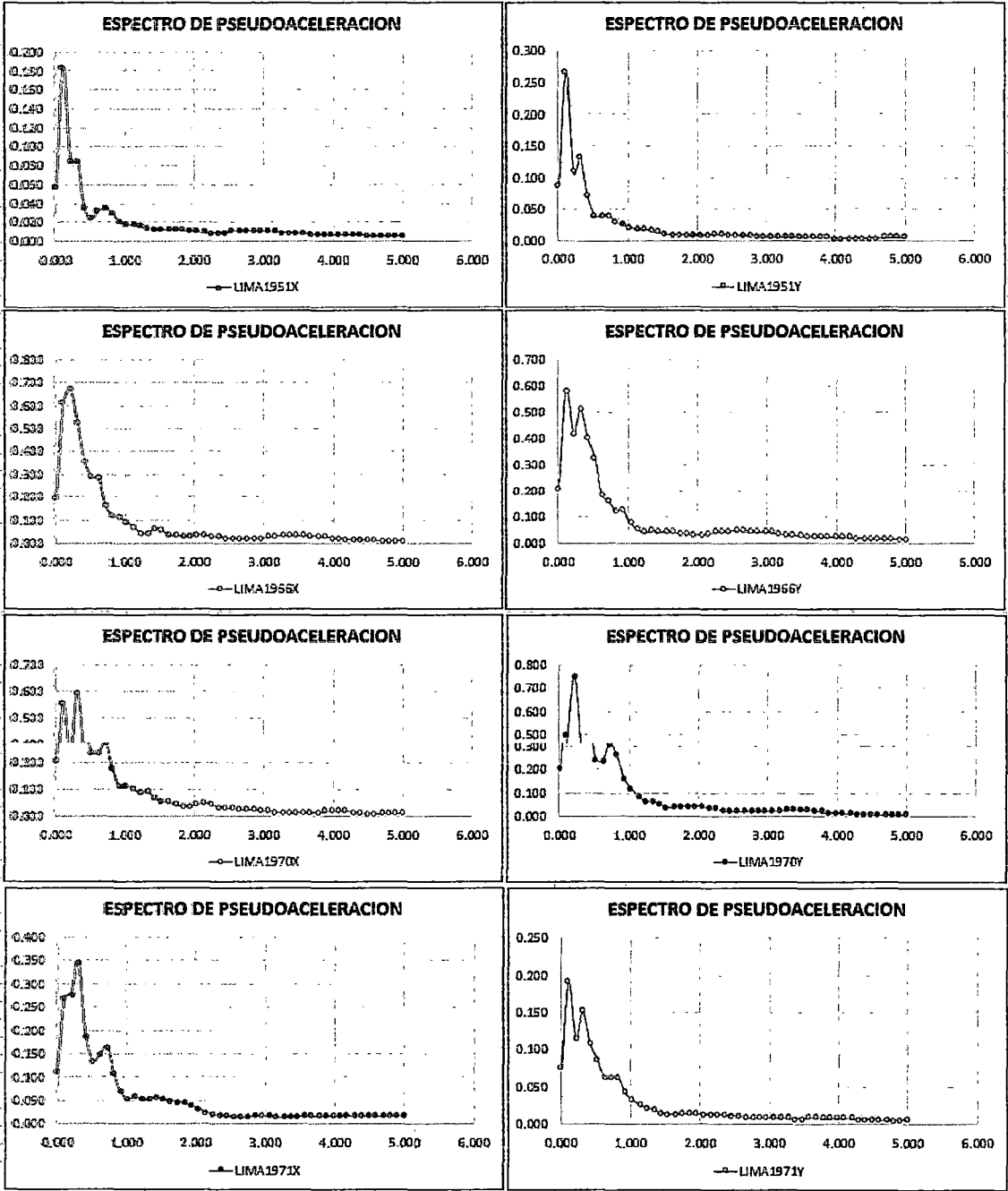


Figura 13.34. Espectros de pseudoaceleración de registros:Lima 1951,1966,1970 y 1971.

c) Verificación de espectros.

Los espectros originales deben ser modificados por un factor de manera que el promedio de los espectros de respuesta combinados con SRSS para las parejas de registros no sea menor que $(1,3 - 0,1 * 1,3)$ veces el espectro de sismo de diseño para $\beta = 0,05$. Esto es aplicable solo para el rango de

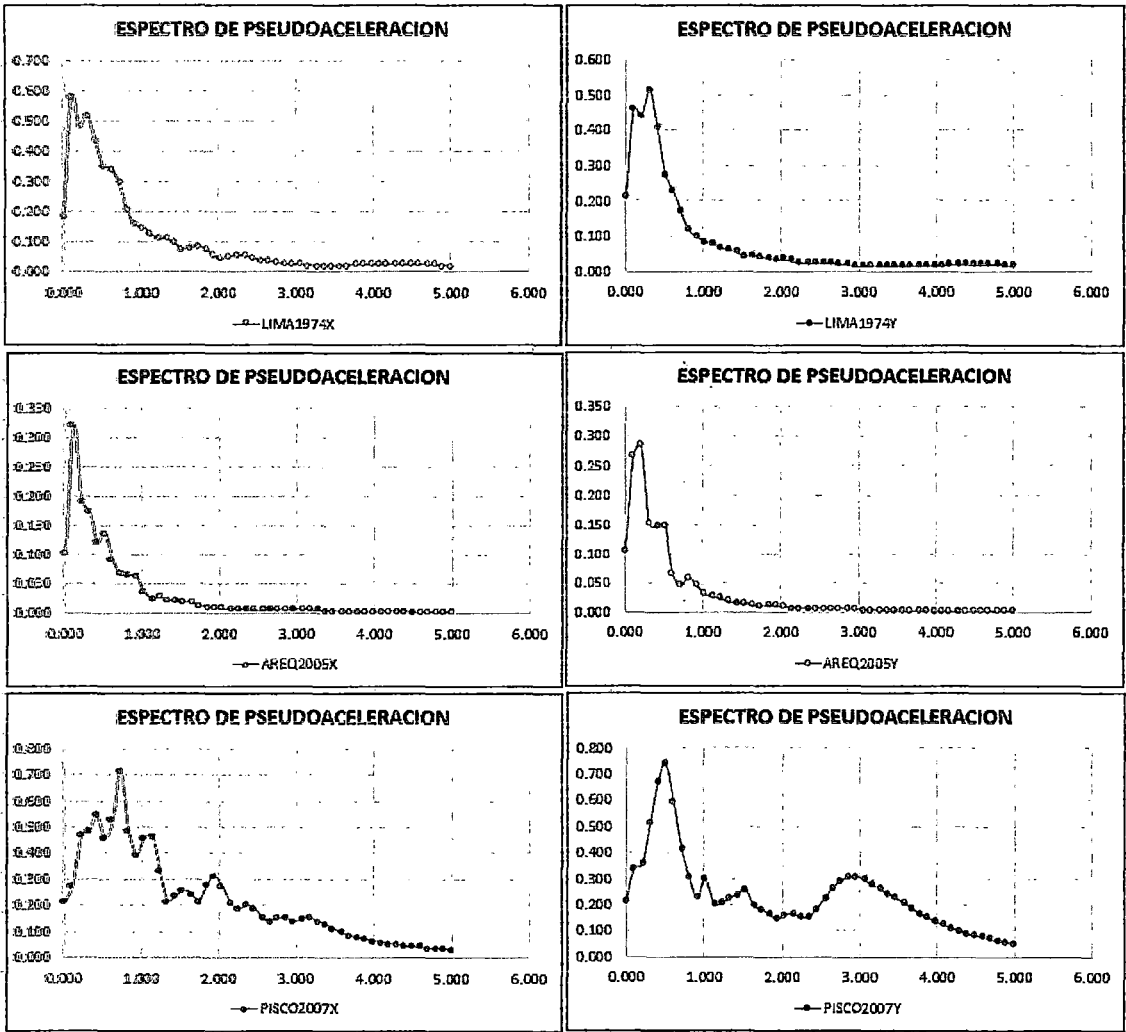


Figura 13.35. Espectros de pseudoaceleración de registros:Lima 1974,Arequipa 2005 y Pisco 2007.

periodo de $0.5 T_D$ a $1.25 T_D$.

El rango de análisis de esta condición es : $0,5 * T_D = 1,00seg$ hasta $1,25 * T_D = 2,50seg$

En la figura 13.36 se muestran los 7 espectros combinados a los que se calculara el promedio.

En la figura 13.37 se muestra el promedio de las 7 combinaciones de espectros ademas también se muestra el espectro de diseño multiplicado por $(1,3 - 0,1 * 1,3) = 1,17$.

Se puede observar que en el rango de $1,00$ a $2,50seg$ el espectro promedio esta por debajo del de diseño.

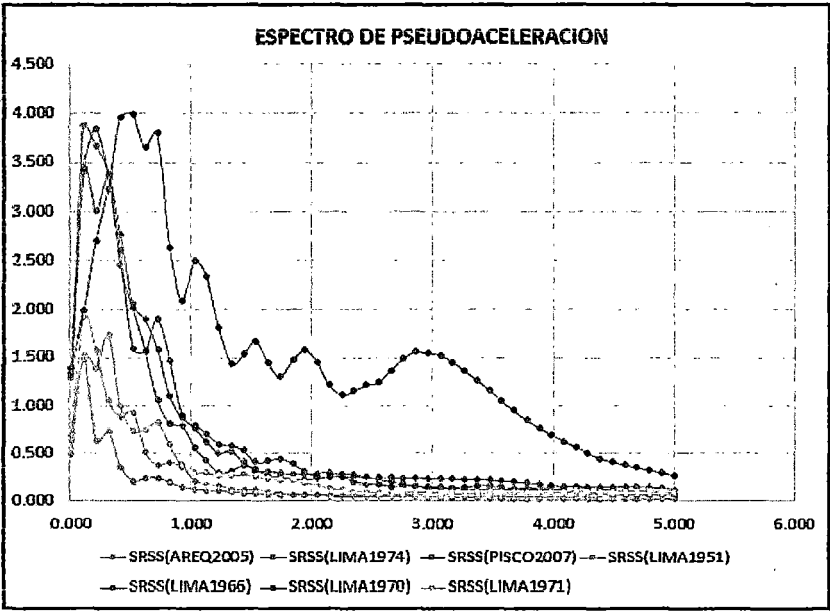


Figura 13.36. Siete espectros combinados con el método SRSS.

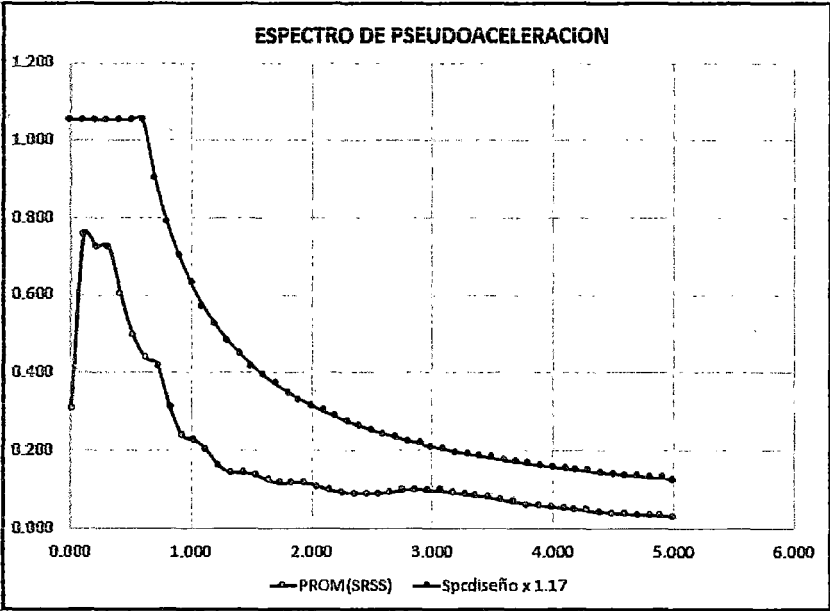


Figura 13.37. Promedio de los siete espectros combinados con el espectro de diseño multiplicado por 1.17.

Entonces se tendrá que multiplicar el espectro promedio por un factor de manera que sus ordenadas estén por encima del de diseño, por lo menos en el rango establecido.

Este factor es igual a $F = 3,24$. En la figura 13.38 se muestra el espectro promedio multiplicado por dicho factor y cumpliendo con la condición

establecida.

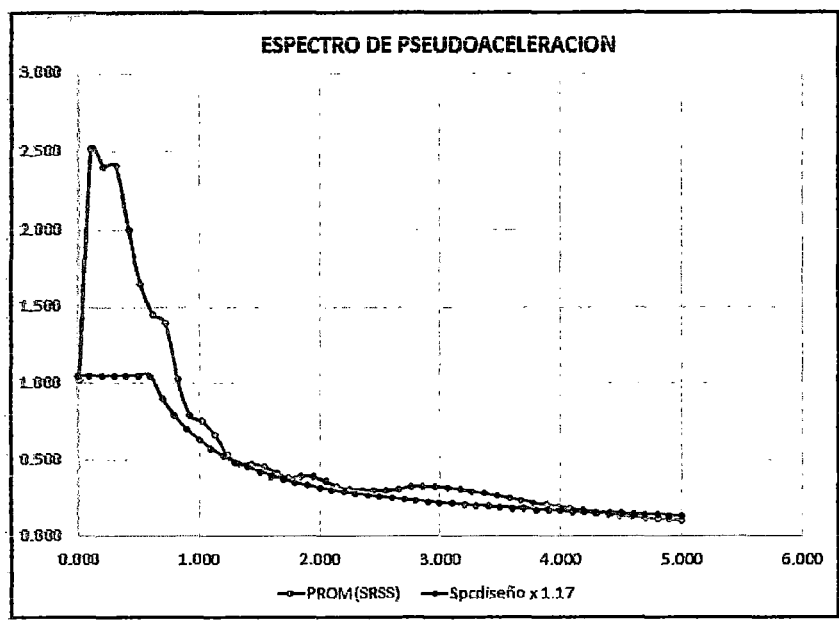


Figura 13.38. Espectro promedio por encima de el espectro de diseño en los rangos de 1.00 a 2.50 seg.

Entonces el factor que debe multiplicarse a los registros sísmicos para luego hacer una análisis tiempo historia es de $F = 3,24$.

Al hacer el análisis tiempo historia los resultados validos obtenidos son el promedio de los resultados de cada registro sísmico; ya que se esta trabajando con 7 pares de registros.

3. ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ETABS v13.

Luego de normalizar y escalar los registros sísmicos por el factor $F = 3,24$ se procedió con el diseño en el programa de calculo.

Para hacer el análisis tiempo historia del sistema aislado en Etabs V13 se siguen los siguieron los siguientes pasos:

a) Definición de funciones tiempo historia.

En la figura 13.39 se muestra las funciones tiempo historia definidos y en la figura 13.40 la ventana donde se carga el registro acelerografico normalizado y escalado con sus propiedades sísmicas.

b) Definición de casos de carga de tiempo historia.

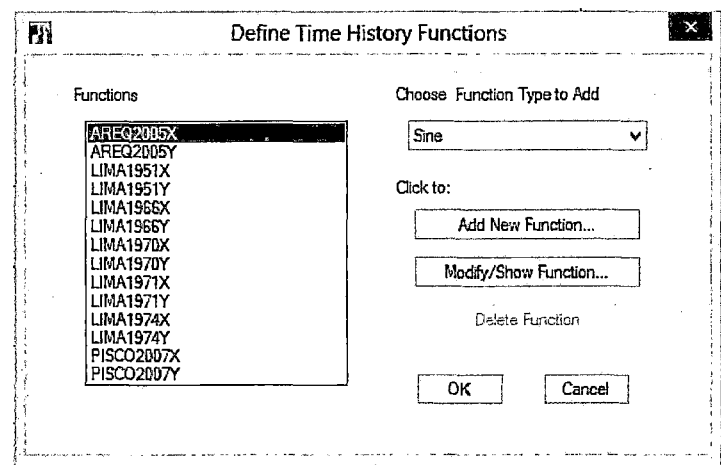


Figura 13.39. Lista de funciones tiempo historia definidos.

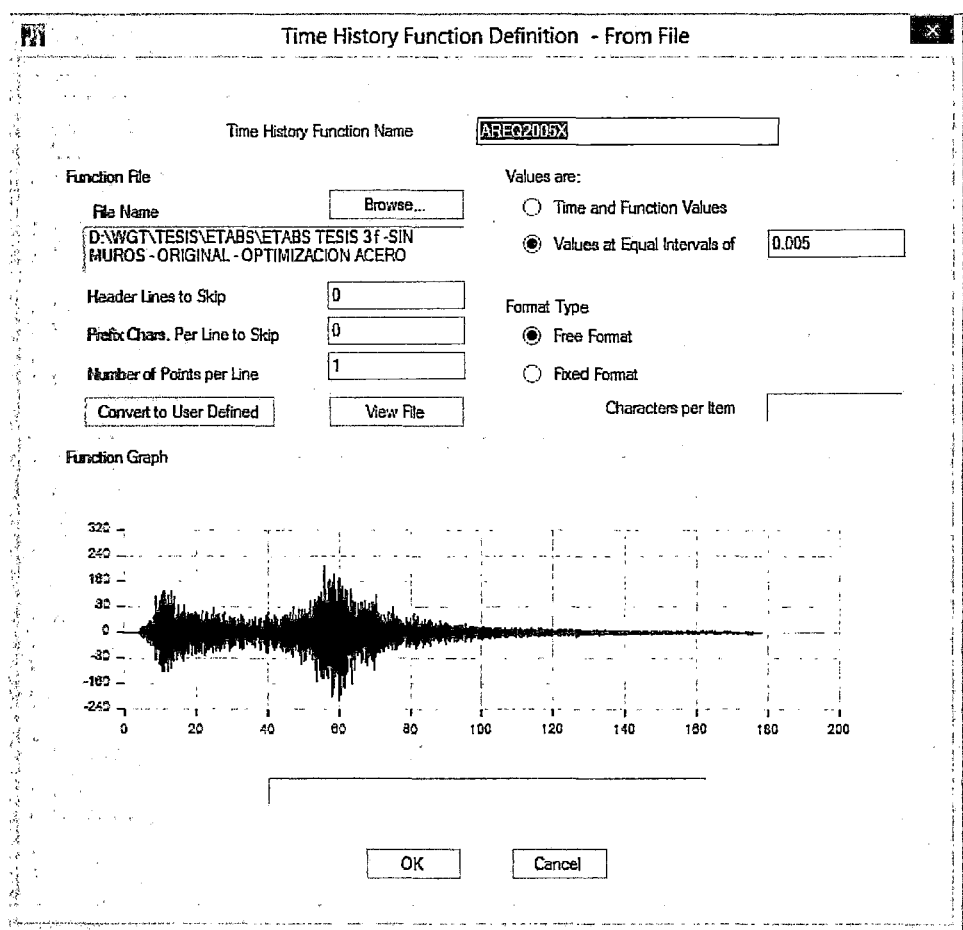


Figura 13.40. Ventana de definición de función tiempo historia.

Los casos de carga sísmica de tiempo historia fueron definidos como se muestra en la figura 13.41 y en la figura 13.42 se muestra la ventana donde se define el caso de carga sísmica. Se eligió para el tipo de carga el

análisis tiempo historia no lineal modal.

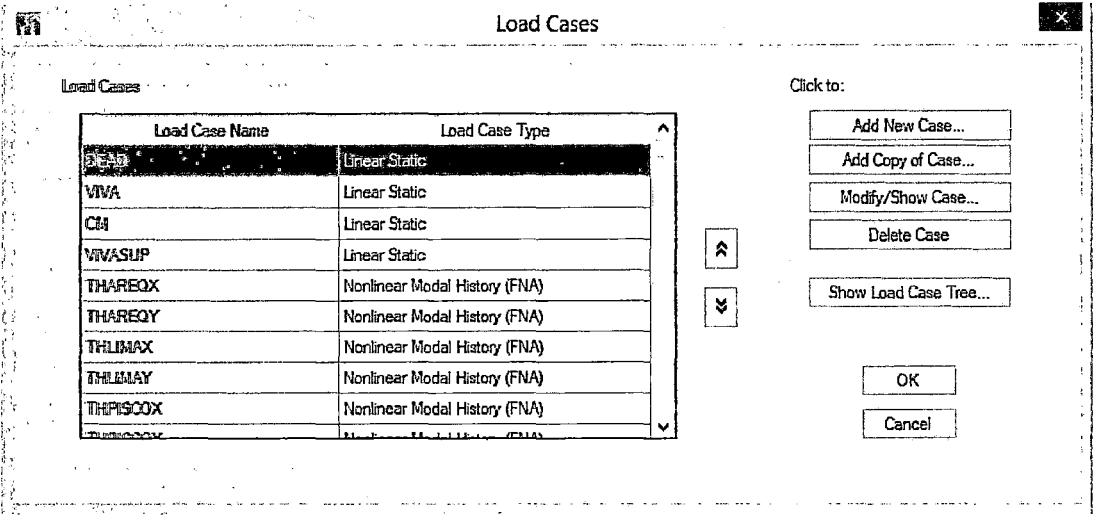


Figura 13.41. Lista de casos de carga de tiempo historia definidos.

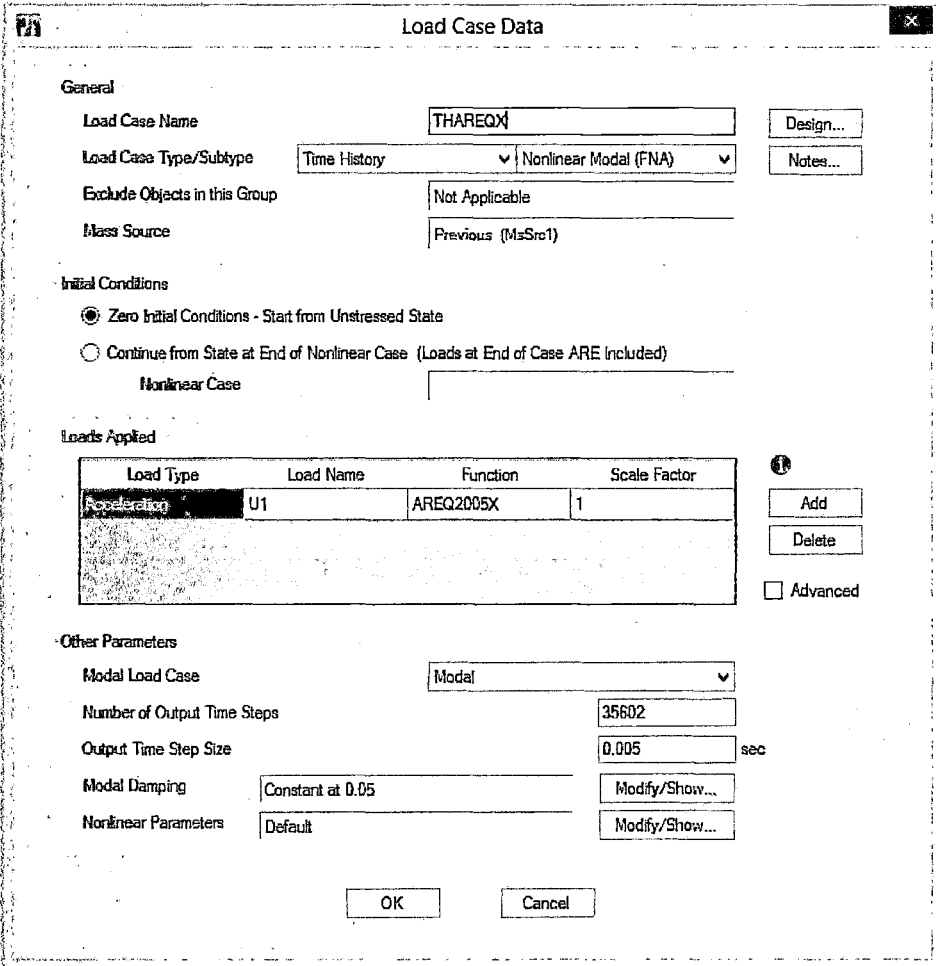


Figura 13.42. Ventana de definición de caso de carga tiempo historia.

4. VERIFICACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

a) Verificación por parámetros de comprobación V_b, V_s, D_{TD}, D_{TM} :

El procedimiento es el mismo realizado para el análisis modal espectral. En la tabla 13.25 se muestra los porcentajes mínimos a los cuales deben de llegar las fuerzas cortantes y desplazamientos resultantes del análisis modal espectral y del tiempo historia, dependiendo del tipo de estructura regular o irregular.

Tabla 13.25. Reducciones en porcentaje de fuerzas y desplazamientos para cada tipo de análisis.

Tipo	Regular		Irregular		Desplazamientos	
	V_b	V_s	V_b	V_s	D_{TD}	D_{TM}
Modal Espectral	90.0 %	80.0 %	100.0 %	100.0 %	90.0 %	80.0 %
Tiempo Historia	80.0 %	60.0 %	100.0 %	80.0 %	90.0 %	80.0 %

En la tabla 13.26 se muestran los valores reducidos de los parámetros de control para el análisis Tiempo Historia en todos los casos en estudio.

Tabla 13.26. Reducciones de fuerzas y desplazamientos para todos los casos.

Caso	$80 \% * V_b$	$60 \% * V_s$	$90 \% * D_{TD}$	$80 \% * D_{TM}$
Caso1:HDR	260851.012	118049.832	11.07	14.76
Caso2:LRB	207651.376	142378.713	8.855	11.807
Caso3:HDR1+HDR2	241279.013	116811.870	10.239	13.652
Caso4:HDR+LRB	228616.639	134040.529	9.839	13.119

1) Para superestructuras regulares, el V_s del análisis tiempo historia no debe ser menor que el 60 % de V_s del análisis estático.

En la tabla 13.27 se muestra la comparación del corte basal V_s . Se puede observar que para todos los casos se cumple con esta condición.

2) Para el sistema de aislamiento y estructuras por debajo de ella, el V_b del análisis sísmico no debe de ser menor que el 80 % de V_b del análisis estático.

Tabla 13.27. Verificación del corte basal de la superestructura en ton.

Verificación del corte basal V_s de la superestructura				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,6 * V_s$	118.04	142.37	116.81	134.04
V_{sx}	613.31	633.28	616.51	602.64
Condición x	$V_{sx} > 0,6 * V_s$	$V_{sx} > 0,6 * V_s$	$V_{sx} > 0,6 * V_s$	$V_{sx} > 0,6 * V_s$
V_{sy}	502.92	591.66	516.82	531.62
Condición y	$V_{sy} > 0,6 * V_s$	$V_{sy} > 0,6 * V_s$	$V_{sy} > 0,6 * V_s$	$V_{sy} > 0,6 * V_s$

En la tabla 13.28 se muestra la comparación del corte basal V_b .

Tabla 13.28. Verificación del corte basal de la subestructura en ton.

Verificación del corte basal V_b de la subestructura				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,8 * V_b$	260.85	207.65	241.27	228.61
V_{bx}	713.16	698.79	708.62	678.23
Condición x	$V_{bx} > 0,8 * V_b$	$V_{bx} > 0,8 * V_b$	$V_{bx} > 0,8 * V_b$	$V_{bx} > 0,8 * V_b$
V_{by}	594.84	681.63	608.15	622.27
Condición y	$V_{by} > 0,8 * V_b$	$V_{by} > 0,8 * V_b$	$V_{by} > 0,8 * V_b$	$V_{by} > 0,8 * V_b$

Se puede observar que para todos los casos se cumple con esta condición.

- 3) El D_{TD} no debe de ser menor que el 90 % de D_{TD} del análisis estático.

Tabla 13.29. Verificación del desplazamiento total de diseño D_{TD} del sistema de aislamiento en cm.

Verificación del desplazamiento total de diseño				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,9 * D_{TD}$	11.07	8.85	10.24	9.839
D_{TDx}	12.24	9.28	11.16	10.23
Condición x	$D_{TDx} > 0,9 * D_{TD}$	$D_{TDx} > 0,9 * D_{TD}$	$D_{TDx} > 0,9 * D_{TD}$	$D_{TDx} > 0,9 * D_{TD}$
D_{TDy}	11.23	8.96	10.59	9.91
Condición y	$D_{TDy} > 0,9 * D_{TD}$	$D_{TDy} > 0,9 * D_{TD}$	$D_{TDy} > 0,9 * D_{TD}$	$D_{TDy} > 0,9 * D_{TD}$

En la tabla 13.29 se observa que se cumple con esta condición.

- 4) El D_{TM} no debe de ser menor que el 80 % de D_{TM} del análisis estático.

Tabla 13.30. Verificación del desplazamiento total máximo D_{TM} del sistema de aislamiento en cm

Verificación del desplazamiento total máximo				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
$0,8 * D_{TM}$	14.76	11.80	13.65	13.12
D_{TMx}	18.36	13.92	16.75	15.35
Condicion x	$D_{TMx} > 0,8 * D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8 * D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8 * D_{TM}$	$D_{TMx} > 0,8 * D_{TM}$
$D_{TM y}$	16.85	13.45	15.89	14.87
Condicion y	$D_{TM y} > 0,8 * D_{TM}$	$D_{TM y} > 0,8 * D_{TM}$	$D_{TM y} > 0,8 * D_{TM}$	$D_{TM y} > 0,8 * D_{TM}$

En la tabla 13.30 se observa que se cumple con esta condición.

b) Derivas en la superestructura:

Para el caso del análisis tiempo historia las derivas en los pisos de la superestructura no debe exceder a $0,020/R_f$ siendo R_f el factor de reducción sísmica para el sistema aislado que es equivalente a 2.0. En este caso la deriva máxima es de 0.010.

Se cumple esta condición para los cuatro casos. En las tablas 13.31,13.32,13.33 y 13.34.

Tabla 13.31. Verificación de derivas en superestructura caso HDR.

Verificación de derivas caso HDR			
Piso	$0.020/R_f$	Deriva x	Deriva y
4	0.010	0.0025	0.0031
3	0.010	0.0030	0.0034
2	0.010	0.0037	0.0034
1	0.010	0.0036	0.0035

5. RESULTADOS DE ANÁLISIS.

Para obtener los resultados a continuación expuestos se obtuvo para cada parámetro el promedio de los resultados de cada análisis tiempo historia de los 7 pares de registros acclerograficos indicados en la sección anterior.

Tabla 13.32. Verificación de derivas en superestructura caso LRB.

Verificación de derivas caso LRB			
Piso	$0.020/R_I$	Deriva x	Deriva y
4	0.01	0.0024	0.0023
3	0.01	0.0031	0.0025
2	0.01	0.0034	0.0024
1	0.01	0.0032	0.0025

Tabla 13.33. Verificación de derivas en superestructura caso HDR1+HDR2

Verificación de derivas caso HDR1+HDR2			
Piso	$0.020/R_I$	Deriva x	Deriva y
4	0.01	0.0022	0.0025
3	0.01	0.0027	0.0028
2	0.01	0.0033	0.0028
1	0.01	0.0032	0.0028

Tabla 13.34. Verificación de derivas en superestructura caso HDR+LRB

Verificación de derivas caso HDR+LRB			
Piso	$0.020/R_I$	Deriva x	Deriva y
4	0.01	0.0013	0.0010
3	0.01	0.0019	0.0012
2	0.01	0.0022	0.0011
1	0.01	0.0023	0.0012

Se tiene a continuación los siguientes resultados:

a) Periodos de la Estructura.

Los periodos resultantes son iguales a los calculados en el caso modal espectral.

b) Desplazamiento del Sistema de Aislamiento.

Los resultados de los desplazamientos de la interfaz de aislamiento se da en la tabla 13.35

Como se puede observar los desplazamientos calculados son menores a los desplazamiento de diseño, cumpliéndose con esta condición.

Tabla 13.35. Desplazamiento de la interfaz de aislamiento en cm.

Desplazamiento de interfaz de aislamiento				
Descripción	HDR	LRB	HDR1+HDR2	HDR+LRB
D_D de diseño	11.182	8.945	10.343	9.939
D_{Dx} calculado	11.13	8.44	10.15	9.30
D_{Dy} calculado	10.21	8.15	9.63	9.01

c) *Desplazamientos relativos de la estructura.*

En la tabla13.36 se muestra los desplazamientos relativos para cada uno de los casos de análisis y por cada piso.

Tabla 13.36. Desplazamientos relativos por piso y caso de aislamiento en cm.

PISO	HDR		LRB		HDR1+HDR2		HDR+LRB		FIJO	
Nro	U _x	U _y	U _x	U _y	U _x	U _y	U _x	U _y	U _x	U _y
4	12.48	10.59	9.73	8.54	11.43	10.00	10.59	9.36	5.63	1.91
3	12.34	10.51	9.54	8.46	11.32	9.92	10.43	9.30	4.63	1.66
2	11.87	10.43	9.13	8.38	10.88	9.84	10.05	9.22	3.21	1.21
1	11.50	10.33	8.79	8.27	10.52	9.74	9.68	9.12	1.52	0.64
0	11.13	10.21	8.44	8.15	10.15	9.63	9.30	9.01	0.00	0.00

Con los fines de comparar y verificar la efectividad del aislamiento con respecto a la estructura empotrada, se incluye los desplazamientos de la estructura empotrada.

Para poder tener un solo nivel de comparación de desplazamientos se aplicara los mismos registros sísmicos de la estructura aislada , hacia la estructura empotrada original y así obtener los desplazamientos de comparación. Cabe resaltar que este proceso solo se hizo con fines comparativos y no son validos para el diseño de la estructura convencional, pues este ya ha sido realizado en capítulos anteriores.

En la figura 13.43 se muestra los gráficos de los desplazamientos relativos por cada piso contra el desplazamiento de la estructura empotrado.

Como se muestra en la figura 13.43 el mayor desplazamiento se da en todos los casos en el sistema de aislamiento, teniendo a los demás pisos superiores con desplazamientos mínimos.

En el caso de la estructura empotrada se muestra la curva típica del desplazamiento de cada piso. En una estructura empotrada la disipación de energía se da con el desplazamiento de cada uno de sus pisos, sin embargo para una estructura aislada se da primordialmente con el desplazamiento de su sistema de aislamiento.

Para poder observar la diferencia de los desplazamientos netos de la estructura empotrada y la aislada, se descontara el desplazamiento del sistema de aislamiento de los desplazamiento relativos. Así se tiene la tabla 13.37 con los desplazamientos relativos descontados.

Tabla 13.37. Desplazamientos relativos descontados por piso y caso de aislamiento en cm.

[illegible]

En la figura 13.44 se muestra los gráficos de los desplazamientos relativos descontados por cada piso contra el desplazamiento de la estructura empotrado.

Y en la tabla 13.38 se muestra los porcentajes de reducción de desplazamientos.

Tabla 13.38. Porcentajes de reducción de desplazamientos en %.

[illegible]

Como se observa en la figura 13.44 los desplazamientos de la estructura empotrada son mucho mayores a los desplazamiento de la estructura aislada.

La reducción de los dcspazamientos es considerable como lo mostrado en la tabla 13.38. Estos están en el rango del 73.76 a 82.89 % de reducción. Esto demuestra la efectividad del sistema de aislamientos en la estructura. Los desplazamientos en la superestructura esta en función al desplazamiento de diseño, quiere decir que para el caso HDR que tiene el mayor valor se tiene mayores desplazamientos.

Y para el caso LRB que tiene el menor desplazamiento de diseño se tiene los menores desplazamientos de la superestructura.

d) *Corte basal en la estructura.*

Se realiza una comparación del corte basal de la cstructura empotrada con el de la estructura aislada obteniéndose los resultados de la tabla 13.39.

Tabla 13.39. Corte basal de estructura empotrada y aislada en ton.

PISO Nro	HDR		LRB		HDR1+HDR2		HDR+LRB		FIJO	
	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy
4	95.82	61.39	142.84	80.93	102.13	64.15	107.23	69.20	764.78	597.33
3	322.23	228.47	455.46	297.83	336.38	240.47	351.19	260.64	2082.99	2029.06
2	471.92	366.33	583.61	452.90	480.47	380.84	480.40	402.43	2672.16	2964.07
1	613.31	502.93	633.28	591.67	616.51	516.83	602.65	531.62	3249.33	3587.02

En la figura 13.45 se muestra el gráfico de las comparaciones del corte basal para cada caso de aislamiento y la estructura empotrada.

Para poder tener un solo nivel de comparación de cortes basales se aplica para la estructura empotrada los registros sísmicos utilizados en la estructura aislada.

Así se obtendrán los cortes basales de comparación. Cabe resaltar que este proceso solo se hace con fines comparativos y no son validos para el diseño de la estructura convencional, pues este ya ha sido realizado en capítulos anteriores.

Ademas en la tabla 13.40 se observan los porcentajes de reducción de

corte basal con respecto a la estructura fija.

Tabla 13.40. Porcentajes de reducción de corte basal en %.

PISO	HDR		LRB		HDR1+HDR2		HDR+LRB	
Nro	V_x	V_y	V_x	V_y	V_x	V_y	V_x	V_y
4	87.47	89.72	76.09	86.45	86.65	89.26	85.98	88.42
3	84.53	88.74	77.55	85.32	83.85	88.15	83.14	87.15
2	82.34	87.64	80.31	84.72	82.02	87.15	82.02	86.42
1	81.13	85.98	82.35	83.51	81.03	85.59	81.45	85.18

Como se observa en la figura 13.45 el corte basal en los cuatro casos es reducida considerablemente. Esta reducción del corte basal colabora a la estructura a generar menores esfuerzos en sus elementos.

En la tabla 13.40 se observa que los porcentajes de reducción de corte basal para todos los casos están en el rango de 76.09 % a 89.72 %. Esto demuestra la efectividad del sistema de aislamientos en la estructura.

Los cortes basales en la superestructura esta en función al desplazamiento de diseño, quiere decir que para el caso HDR que tiene el mayor valor se tiene mayores cortes basales.

Y para el caso LRB que tiene el menor desplazamiento de diseño se tiene los menores cortes basales de la superestructura.

13.4. Esfuerzos en los elementos de la estructura aislada.

Los esfuerzos en los elementos de concreto armado en una estructura aislada disminuyen con respecto a la estructura empotrada.

La presencia del sistema de aislamiento favorece a la estructura reduciendo los esfuerzos y por consecuencia los requerimientos del refuerzo de acero.

Los esfuerzos mas relevantes presentes en los elementos de la estructura son el momento flector y la fuerza cortante.

Se mostrara los diagramas de momento flector y fuerza cortante para el análisis MODAL ESPECTRAL y la combinación de cargas: ENVOLVENTE RNF02.

Se dará para cada uno de los casos y en los ejes mas importantes como son: 1-1,4-4,7-7,F-F y H-H.

En las figuras 13.46,13.47,13.48, 13.49, 13.50 se muestran los diagramas de momento flector en los 5 ejes para el caso HDR.

En las figuras 13.51,13.52,13.53, 13.54, 13.55 se muestran los diagramas de fuerza cortante en los 5 ejes para el caso HDR.

En las figuras 13.56,13.57,13.58, 13.59, 13.60 se muestran los diagramas de momento flector en los 5 ejes para el caso LRB.

En las figuras 13.61,13.62,13.63, 13.64, 13.65 se muestran los diagramas de fuerza cortante en los 5 ejes para el caso LRB.

En las figuras 13.66,13.67,13.68, 13.69, 13.70 se muestran los diagramas de momento flector en los 5 ejes para el caso HDR1+HDR2.

En las figuras 13.71,13.72,13.73, 13.74, 13.75 se muestran los diagramas de fuerza cortante en los 5 ejes para el caso HDR1+HDR2.

En las figuras 13.76,13.77,13.78, 13.79, 13.80 se muestran los diagramas de momento flector en los 5 ejes para el caso HDR + LRB.

En las figuras 13.81,13.82,13.83, 13.84, 13.85 se muestran los diagramas de fuerza cortante en los 5 ejes para el caso HDR+LRB.

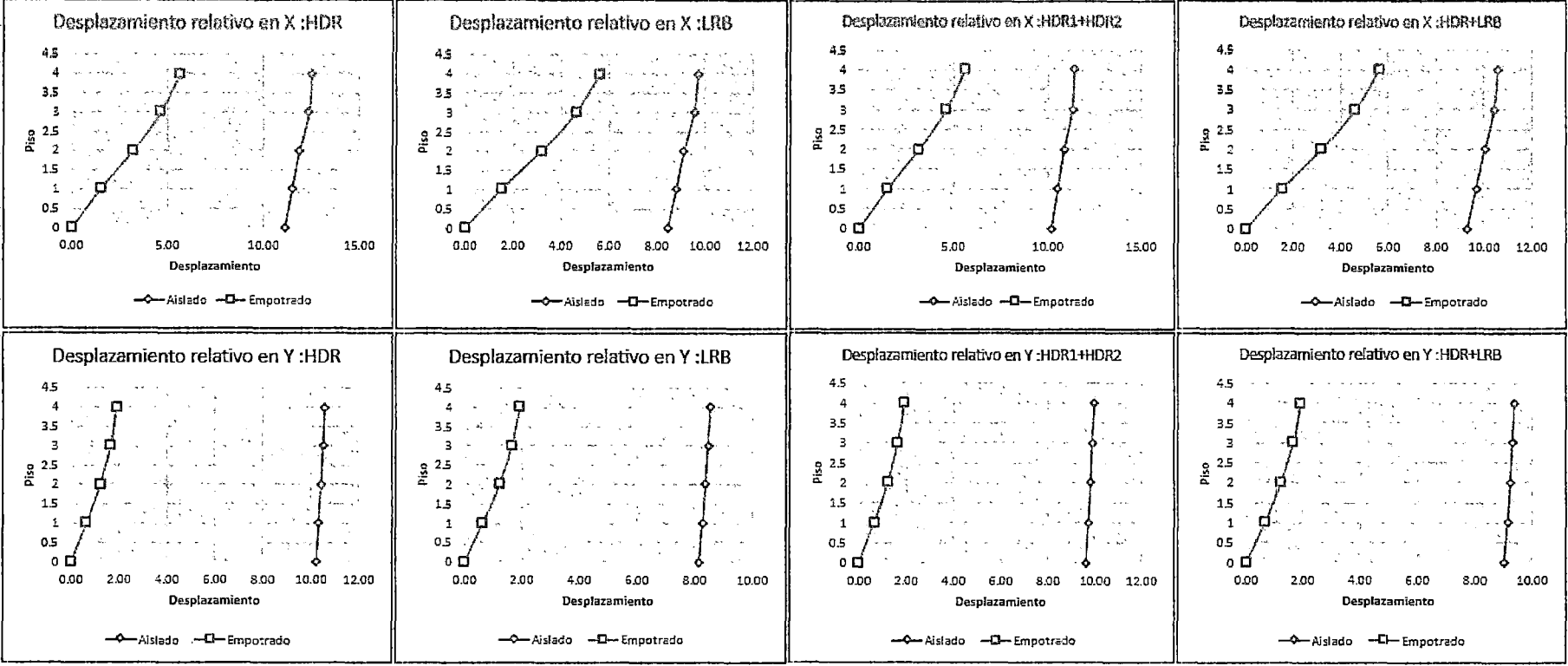


Figura 13.43. Gráfico de desplazamiento relativo por cada piso aislado contra em-

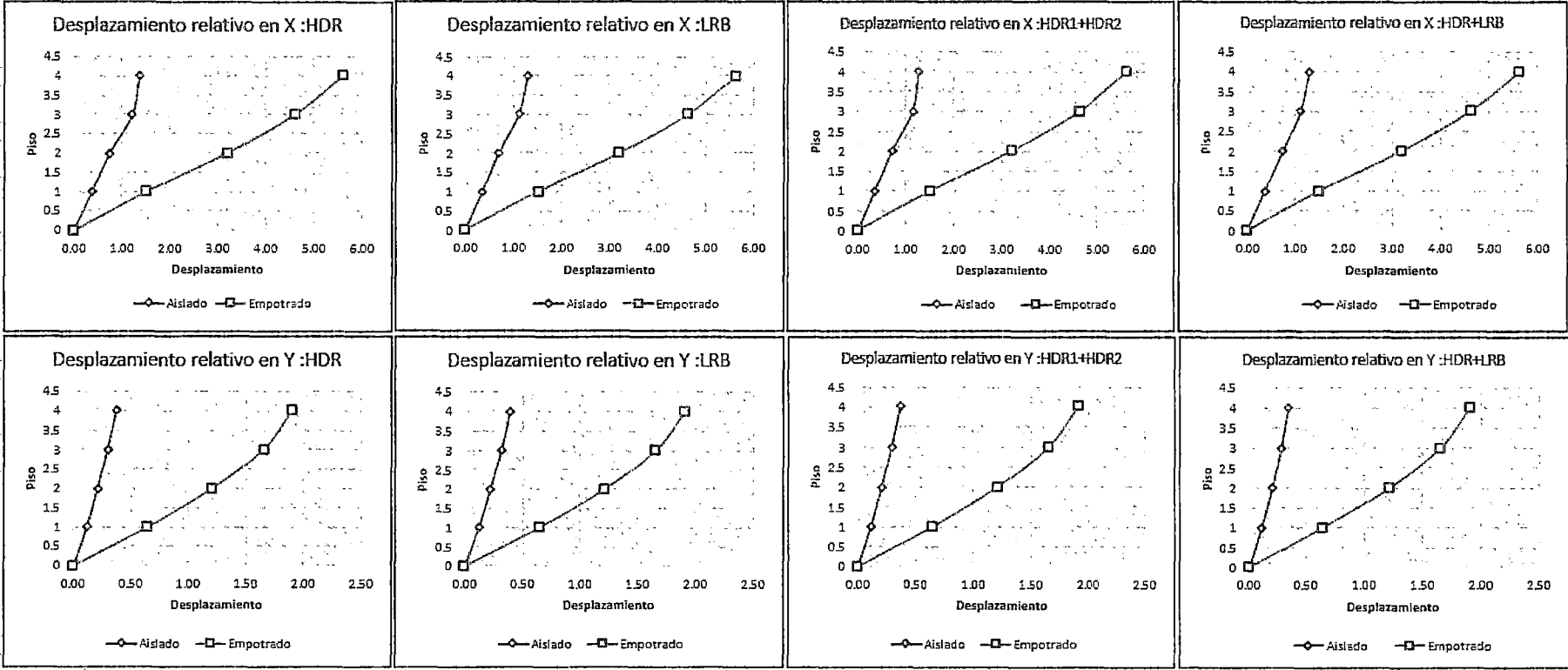


Figura 13.44. Gráfico de desplazamiento relativo descontado por cada piso aislado

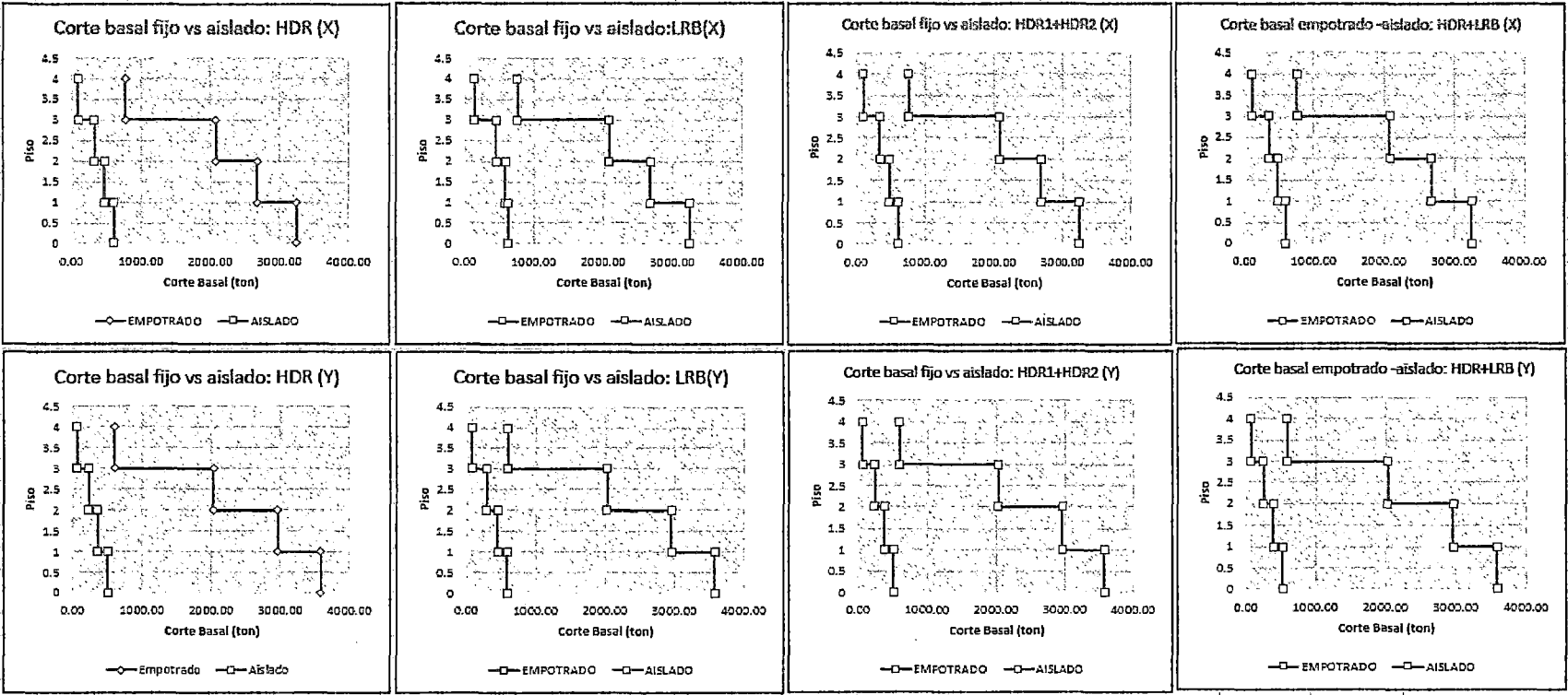


Figura 13.45. Gráfico de cortante basal por cada piso aislado contra empotrado.

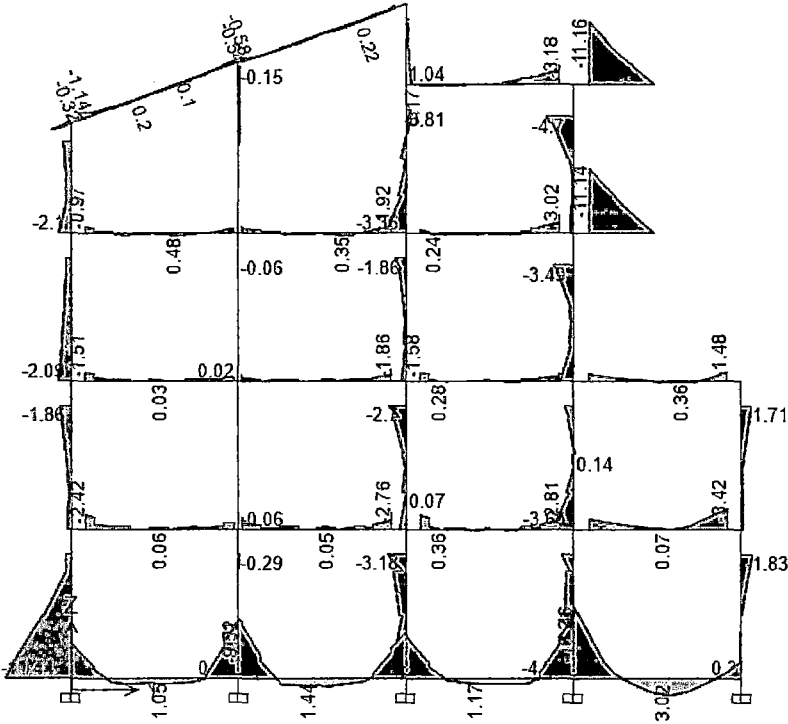


Figura 13.48. Diagrama de momento flector en eje 7-7 para el caso HDR en ton-f*m

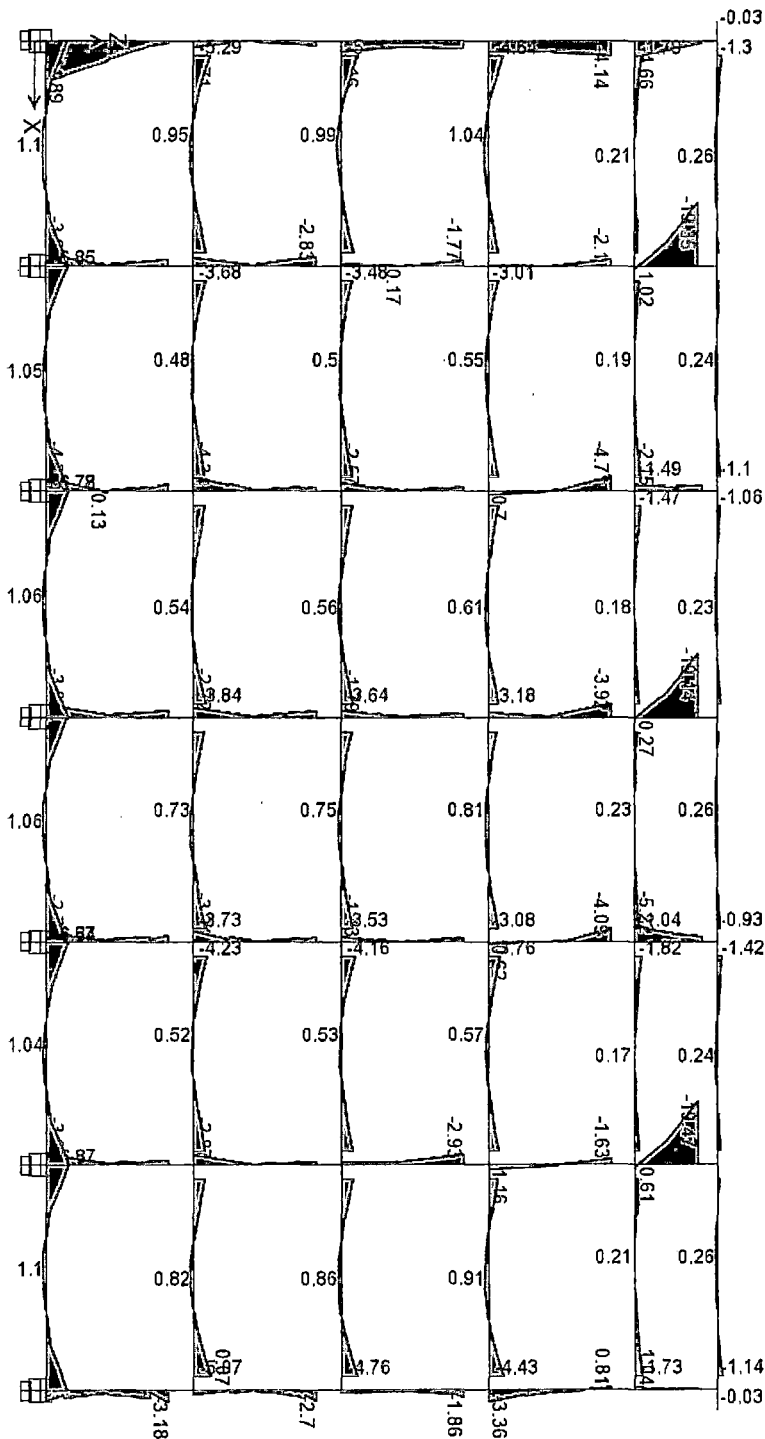


Figura 13.49. Diagrama de momento flexor en cje F-F para el caso HDR en ton-Fm.

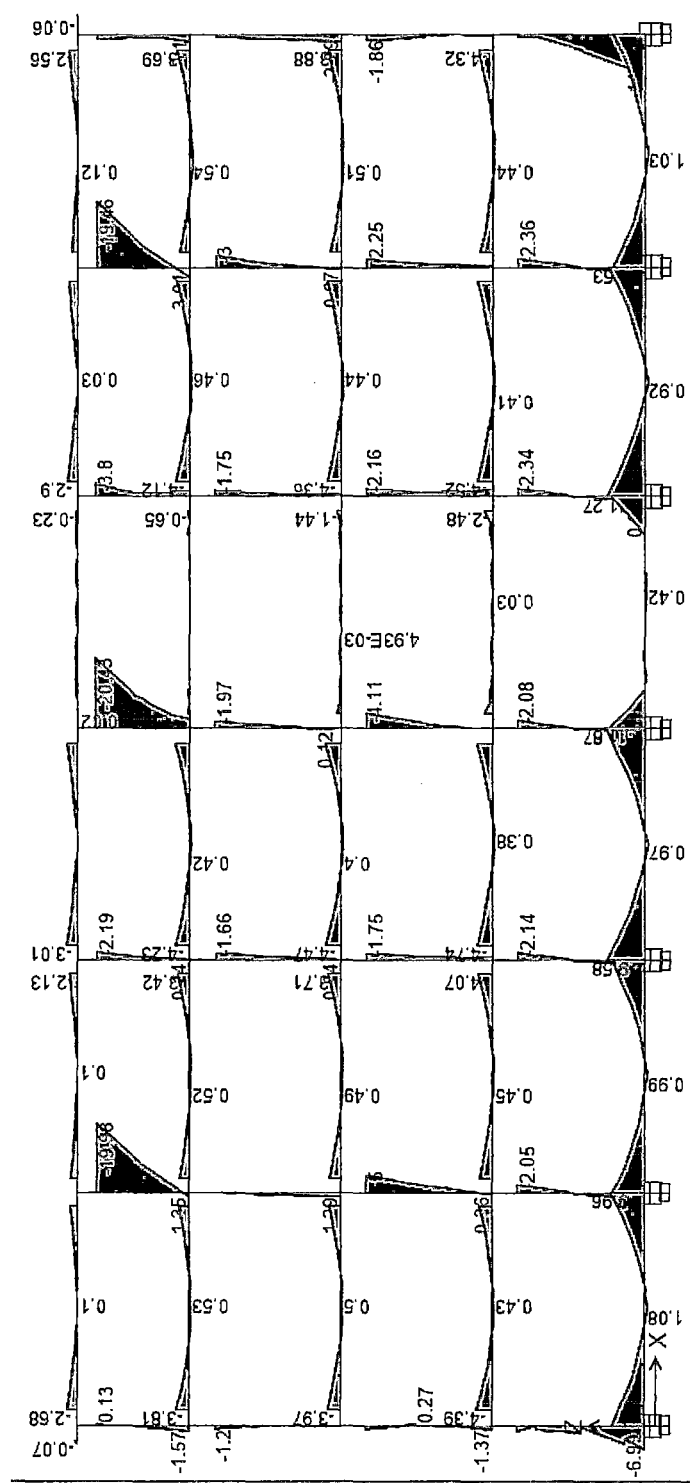


Figura 13.50. Diagrama de momento flector en eje H-H para el caso HDR en ton-f*m.

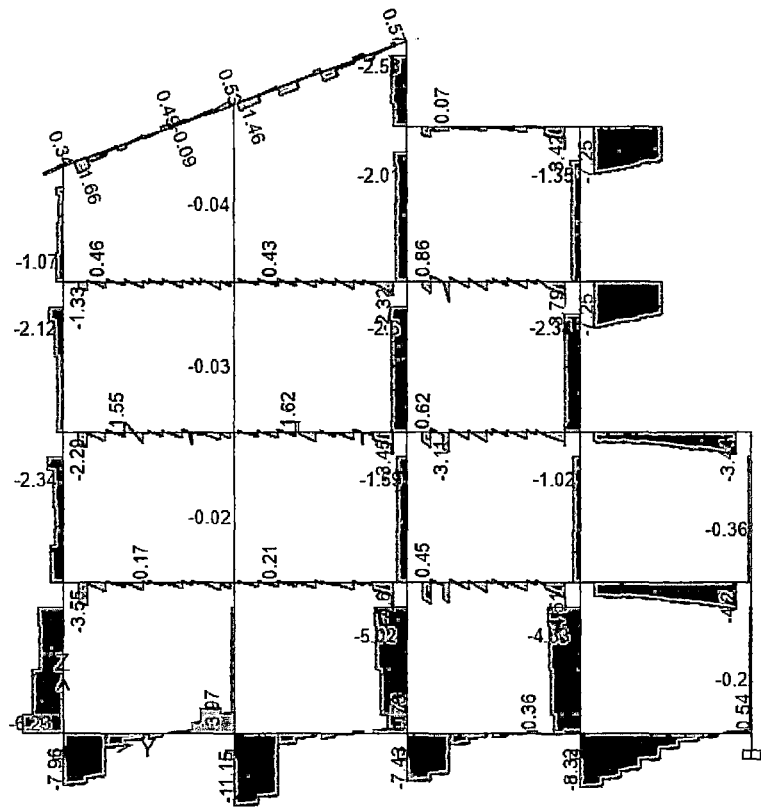


Figura 13.51. Diagrama de fuerza cortante en eje 1-1 para el caso HDR en ton-f.

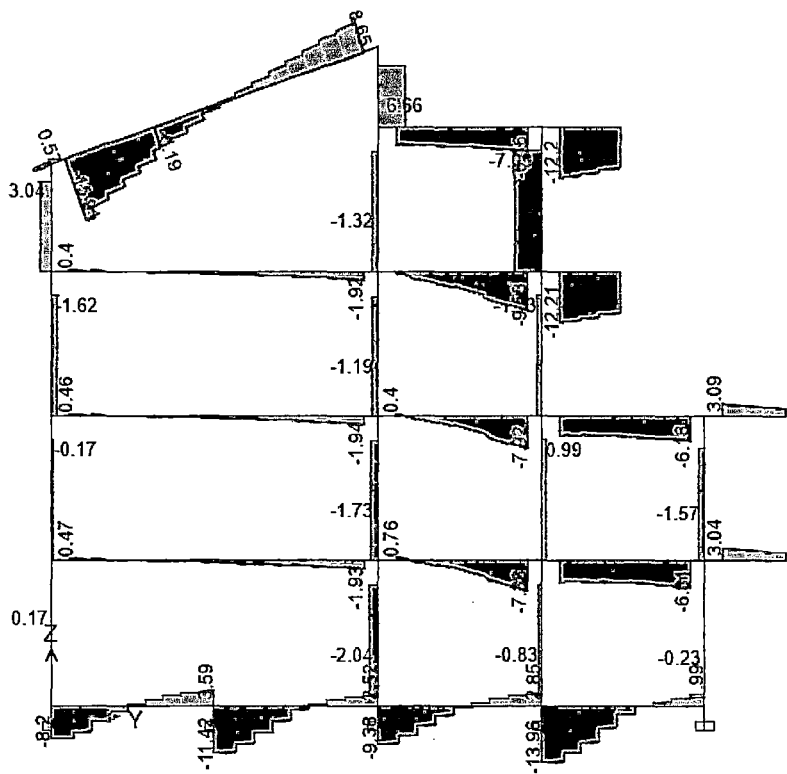


Figura 13.52. Diagrama de fuerza cortante en eje 4-4 para el caso HDR en ton-f.

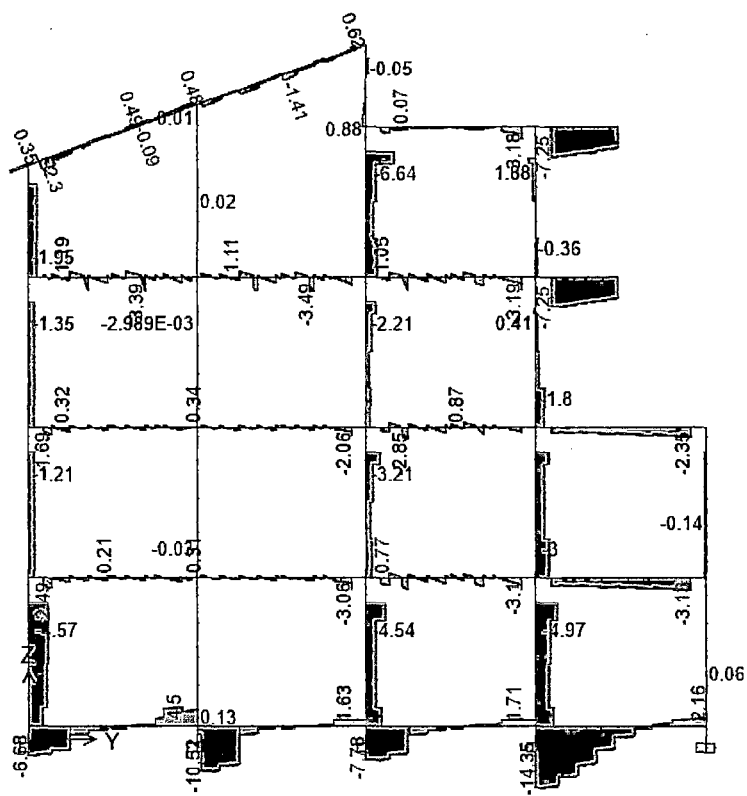


Figura 13.53. Diagrama de fuerza cortante en eje 7-7 para el caso HDR en ton-f.

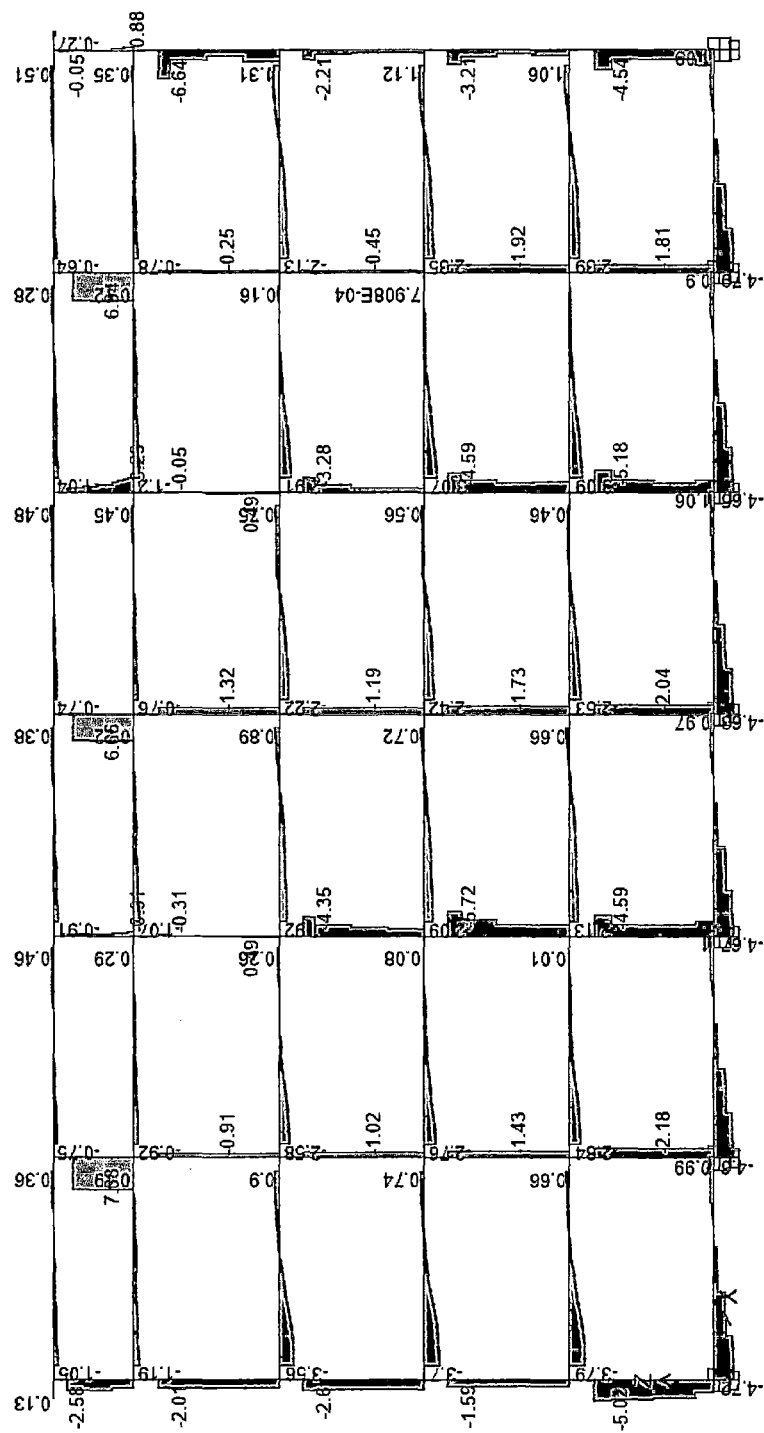


Figura 13.54. Diagrama de fuerza cortante en eje F-F para el caso HDR en ton-f.

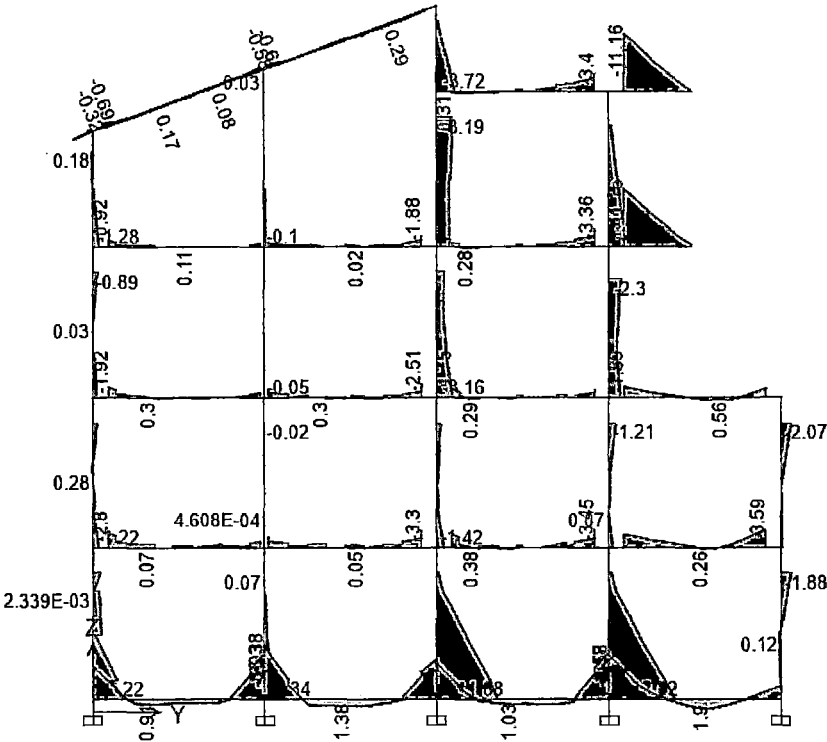


Figura 13.56. Diagrama de momento flector en eje 1-1 para el caso LRB en ton-f*m

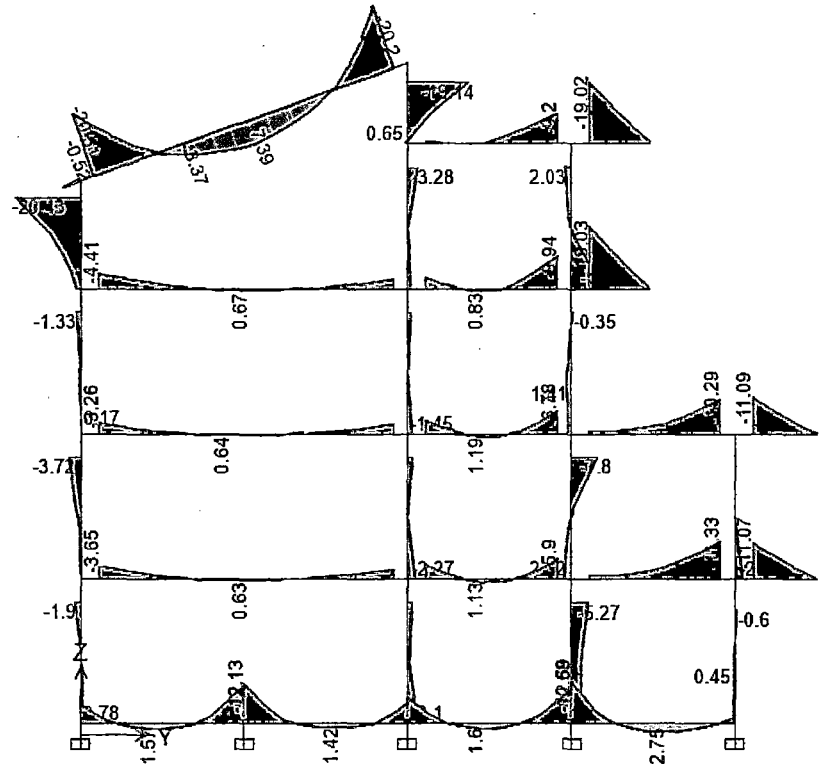


Figura 13.57. Diagrama de momento flector en eje 4-4 para el caso LRB en ton-f*m.

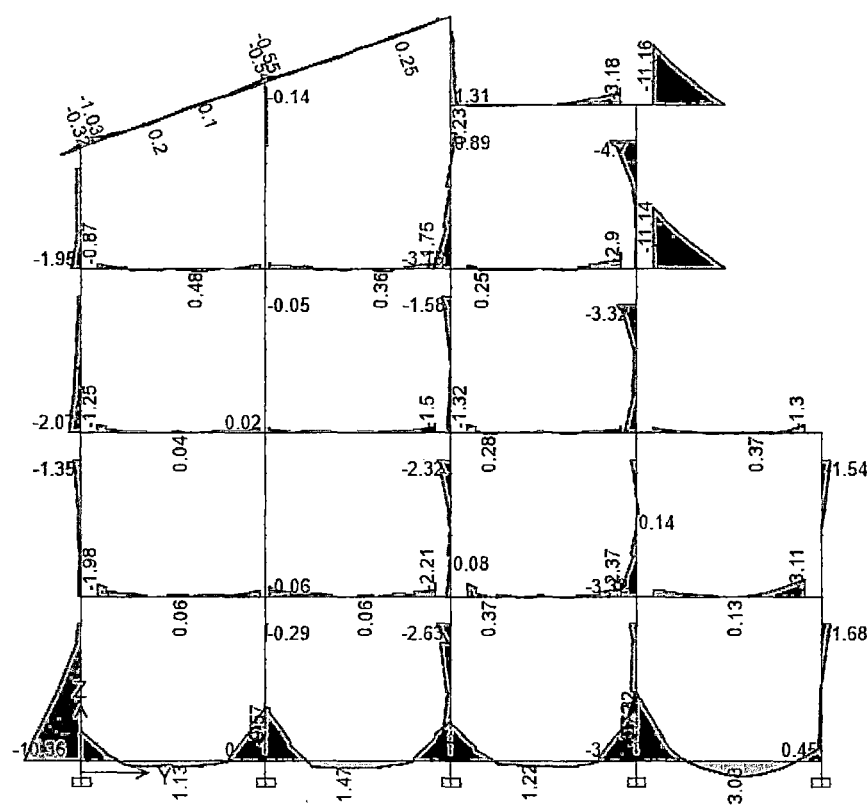


Figura 13.58. Diagrama de momento flector en eje 7-7 para el caso LRB en ton-f*m

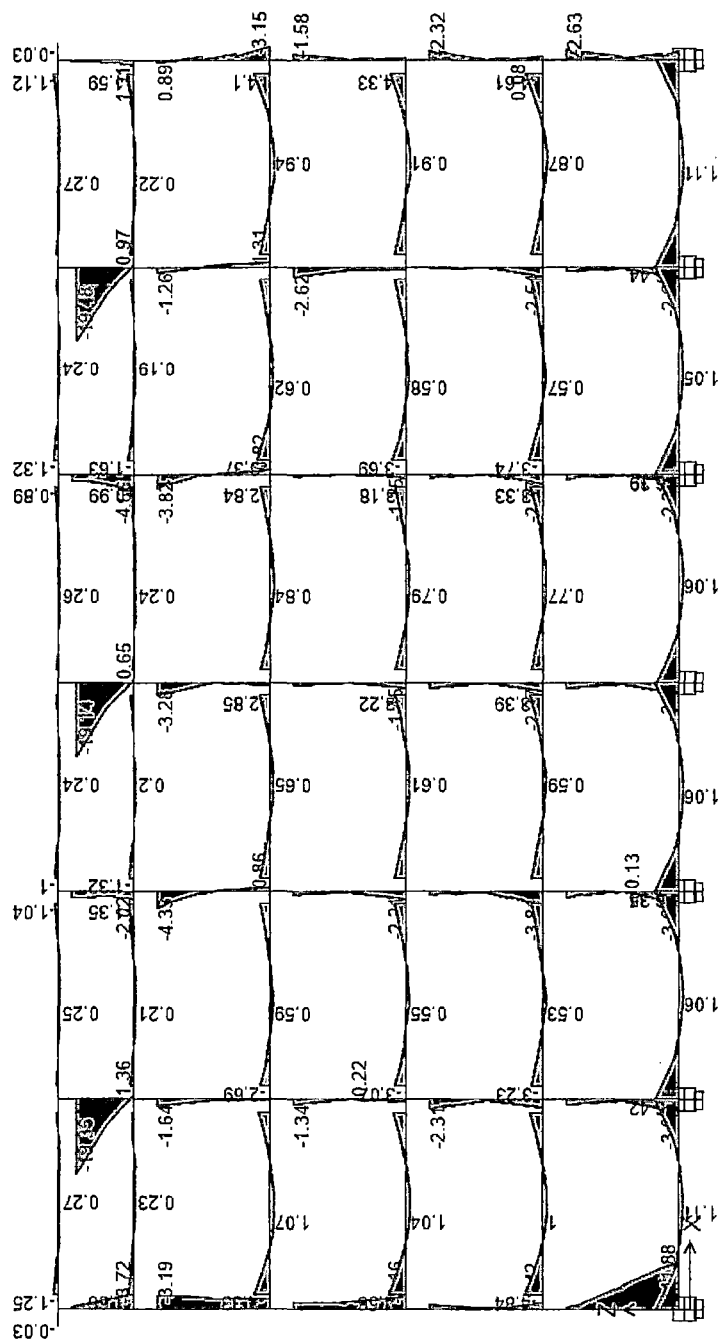


Figura 13.59. Diagrama de momento flector en eje F-F para el caso LRB en ton-f*m.

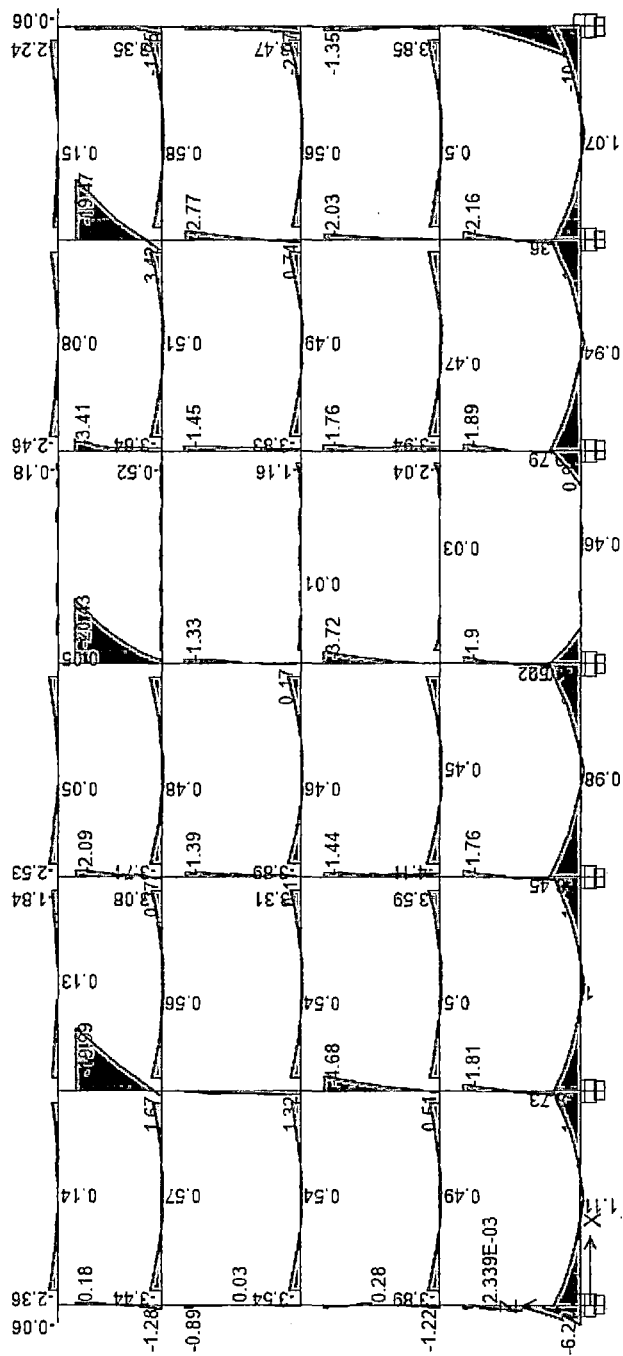


Figura 13.60. Diagrama de momento flector en eje H-H para el caso LRB en ton-f*m.

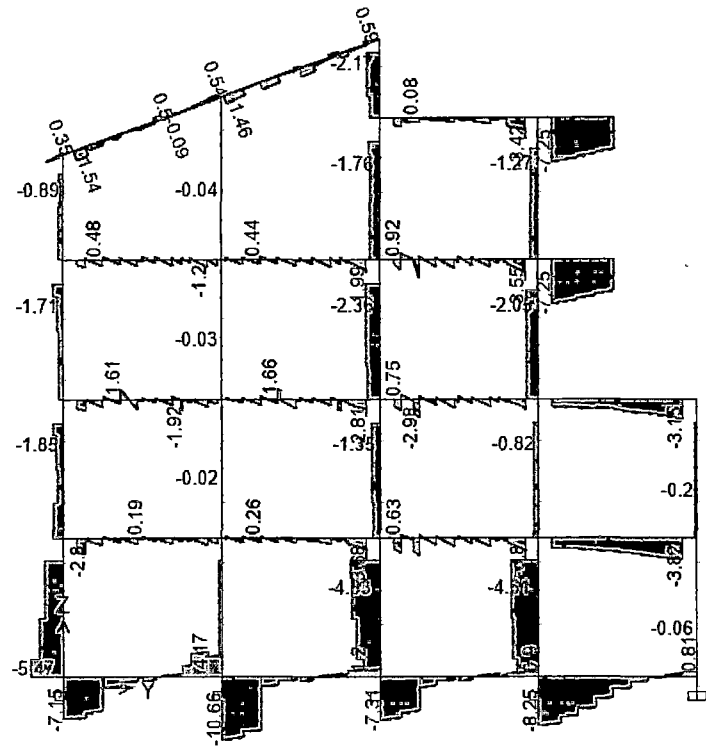


Figura 13.61. Diagrama de fuerza cortante en eje 1-1 para el caso LRB en ton-f.

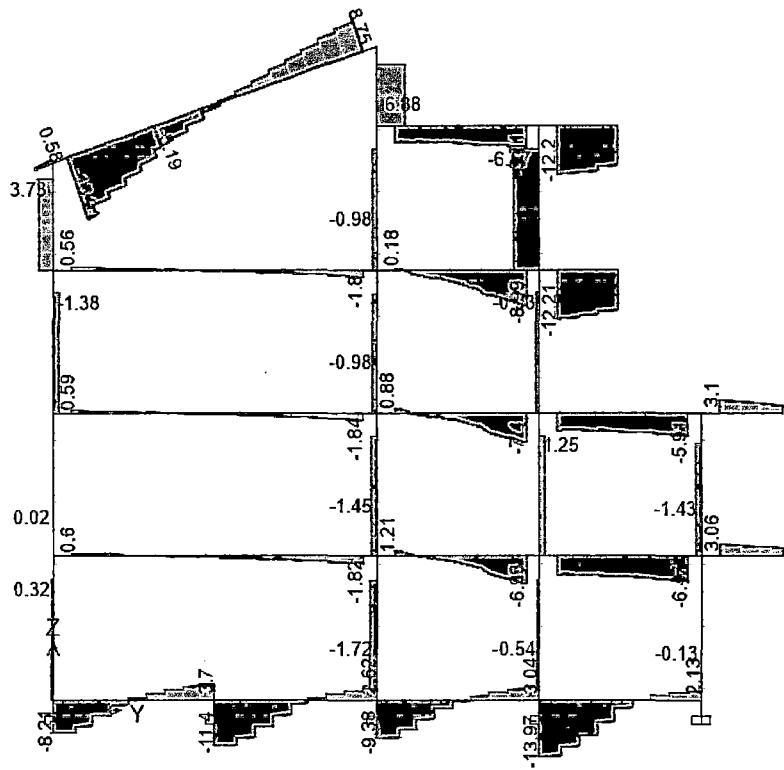


Figura 13.62. Diagrama de fuerza cortante en eje 4-4 para el caso LRB en ton-f.

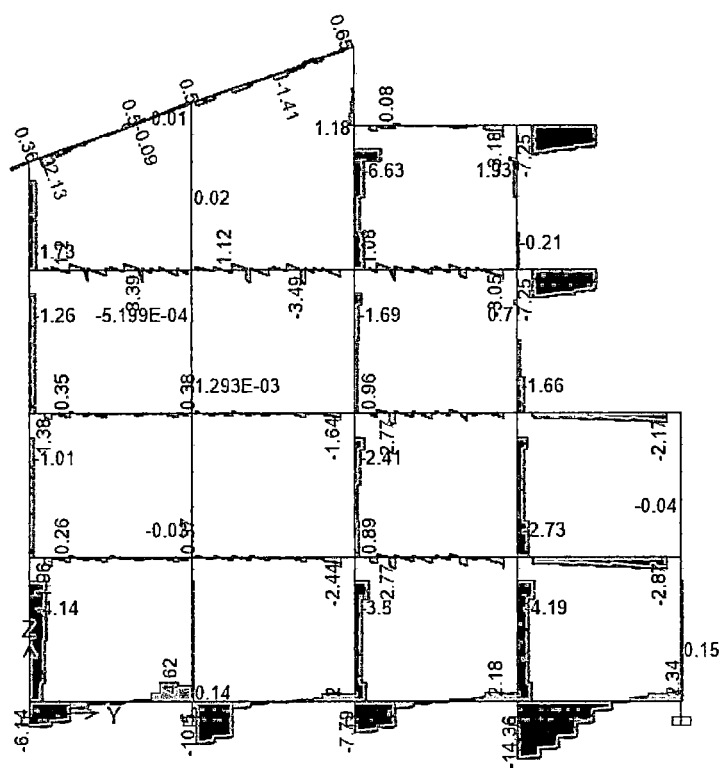


Figura 13.63. Diagrama de fuerza cortante en eje 7-7 para el caso LRB en ton-f.

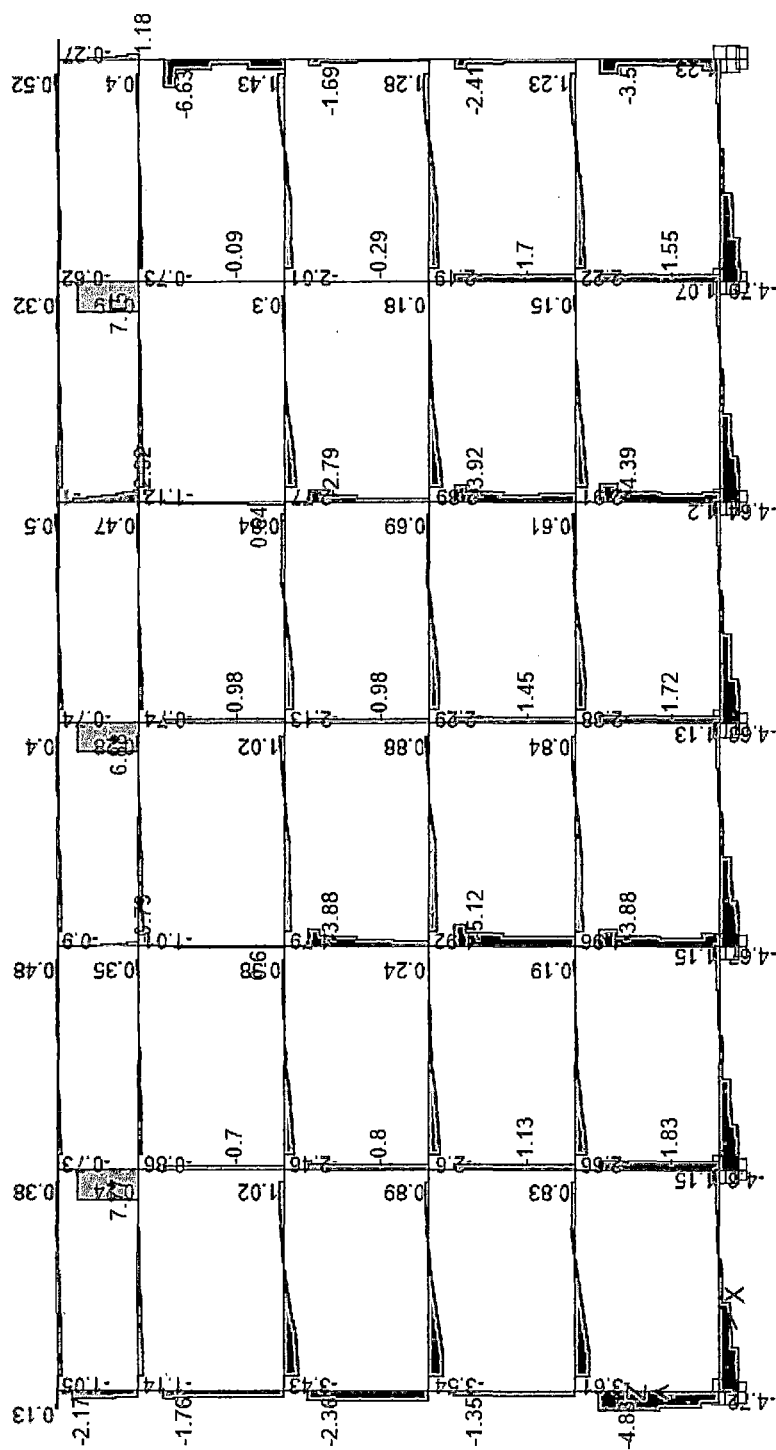


Figura 13.64. Diagrama de fuerza cortante en eje F-F para el caso LRB en ton-f.

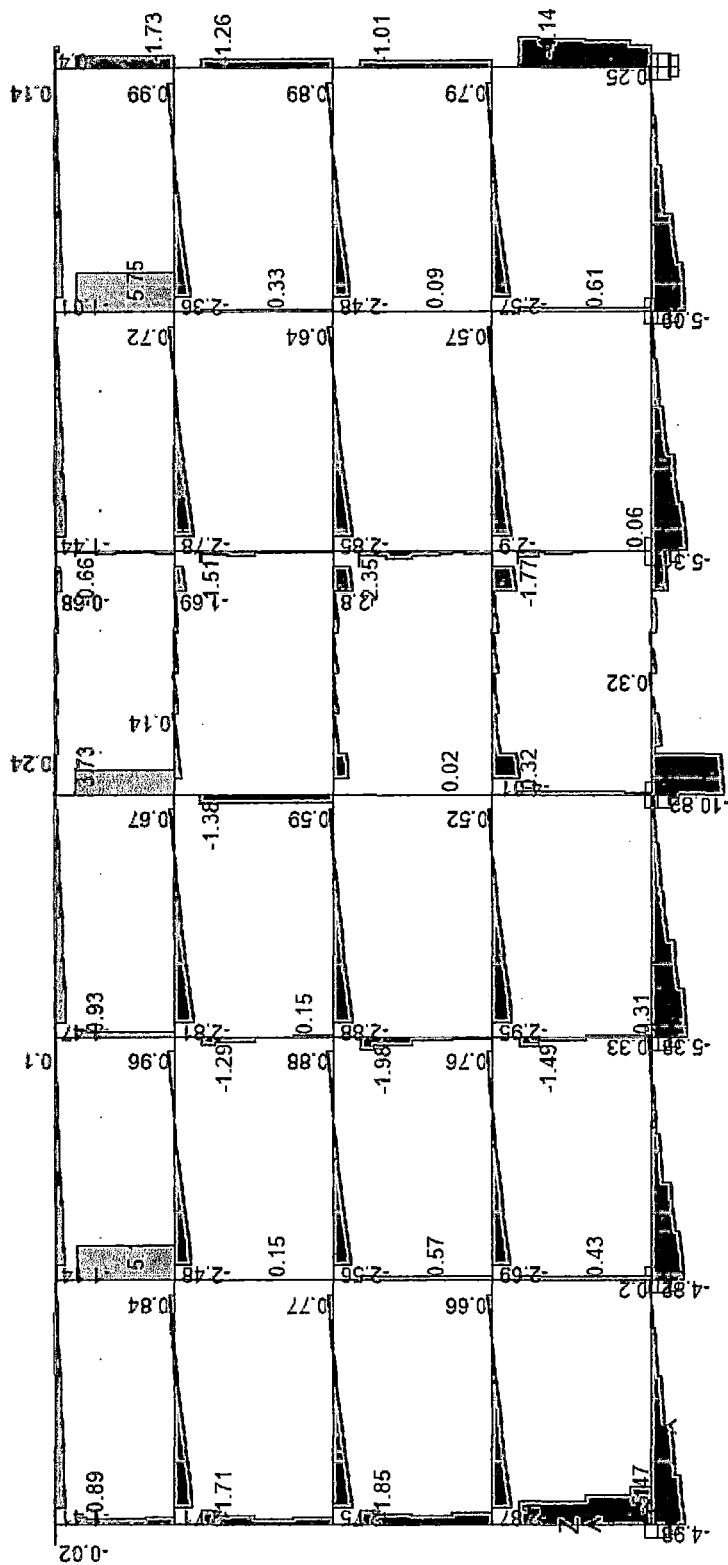


Figura 13.65. Diagrama de fuerza cortante en eje H-H para el caso LRB en ton-f.

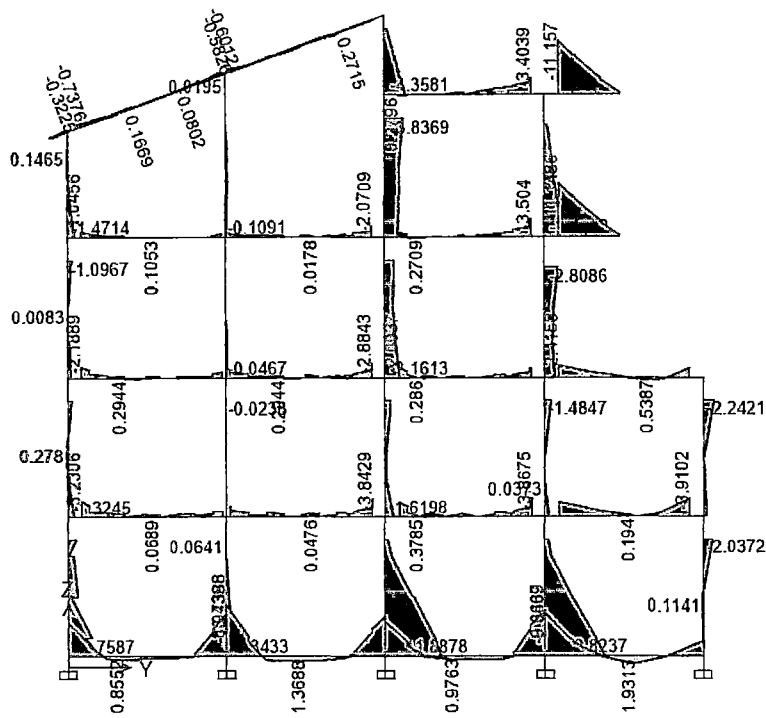


Figura 13.66. Diagrama de momento flector en eje 1-1 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.

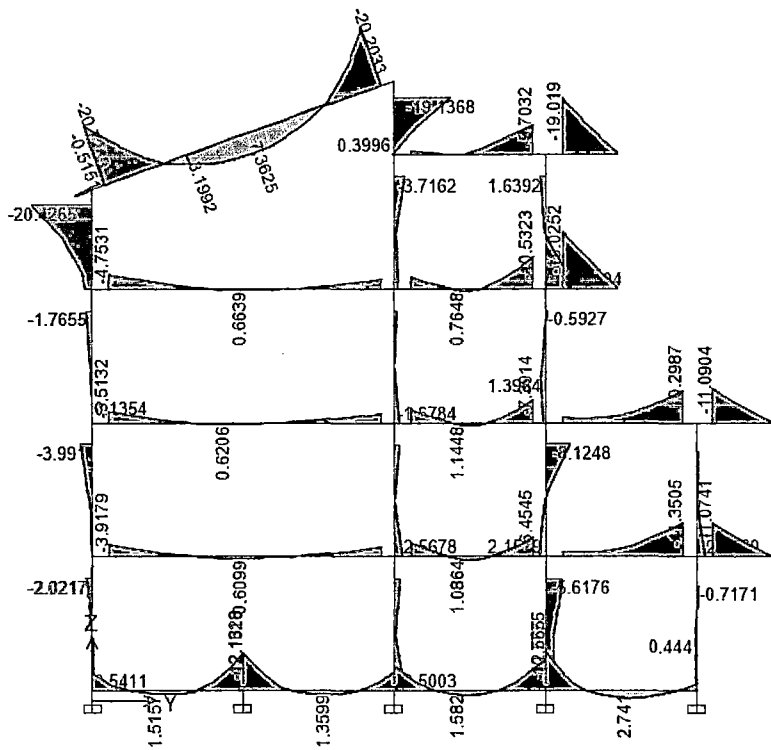


Figura 13.67. Diagrama de momento flector en eje 4-4 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.

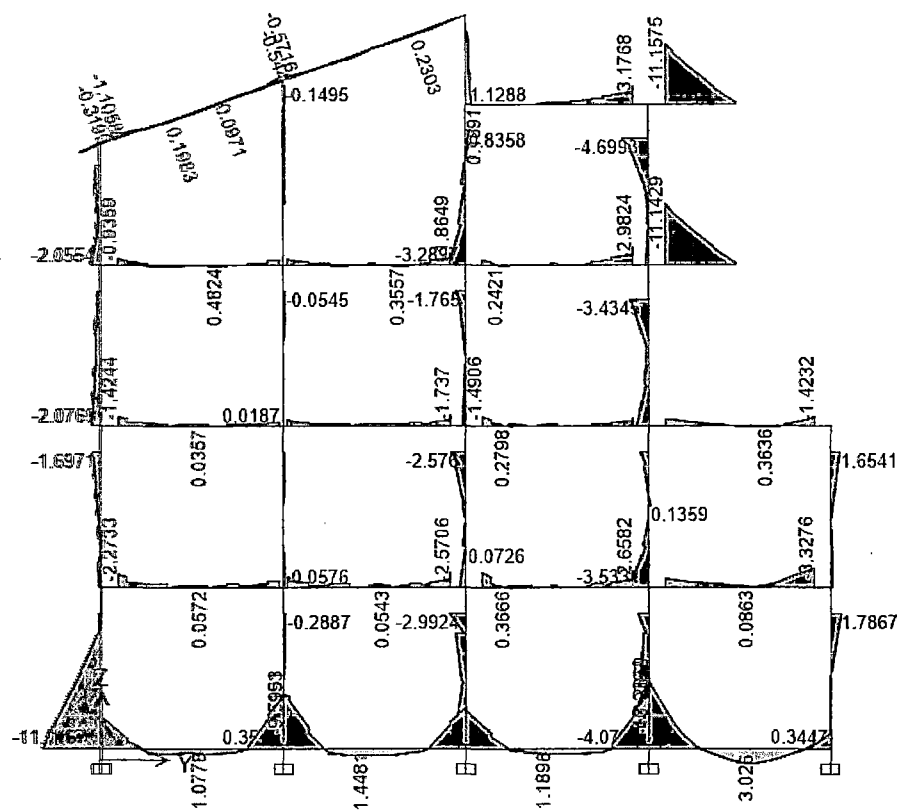


Figura 13.68. Diagrama de momento flector en eje 7-7 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.

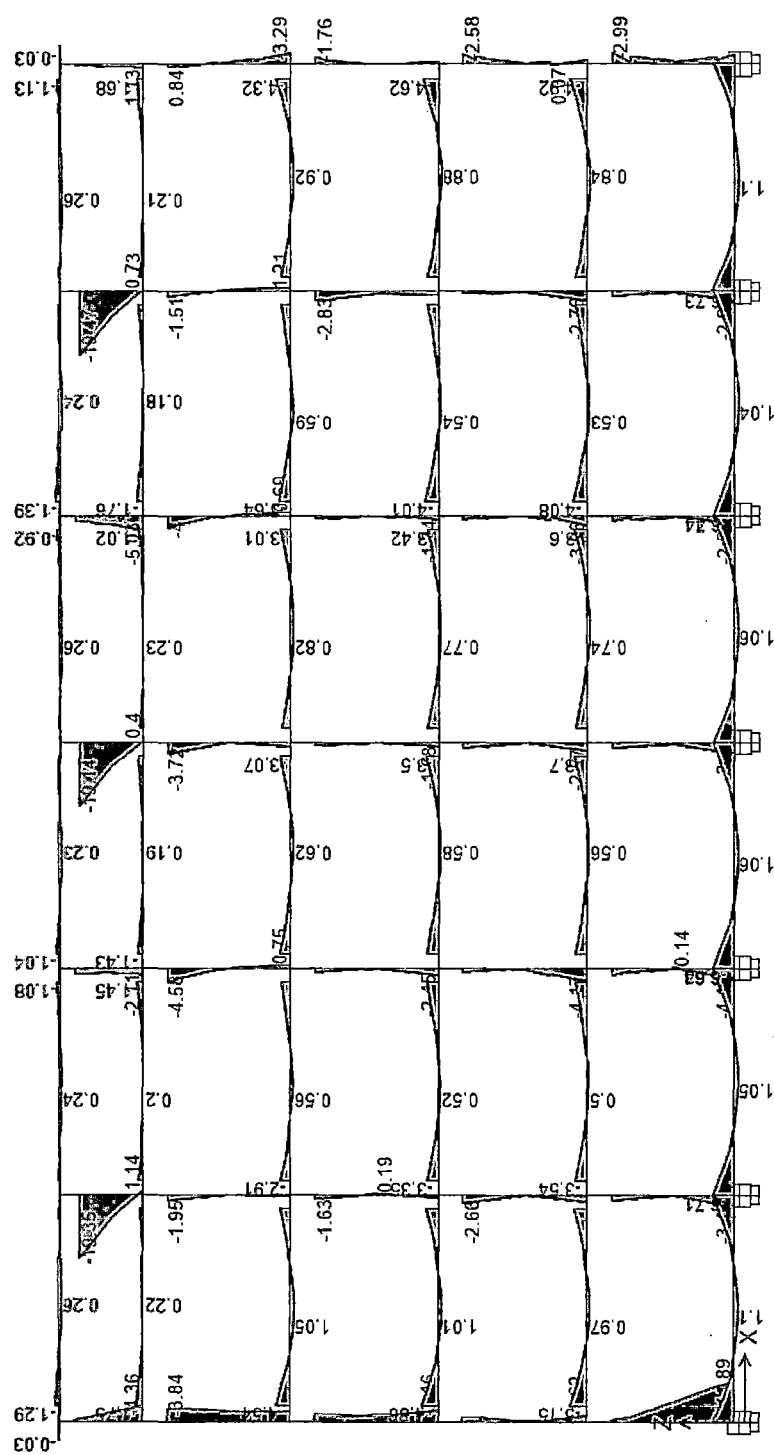


Figura 13.69. Diagrama de momento flector en eje F-F para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.

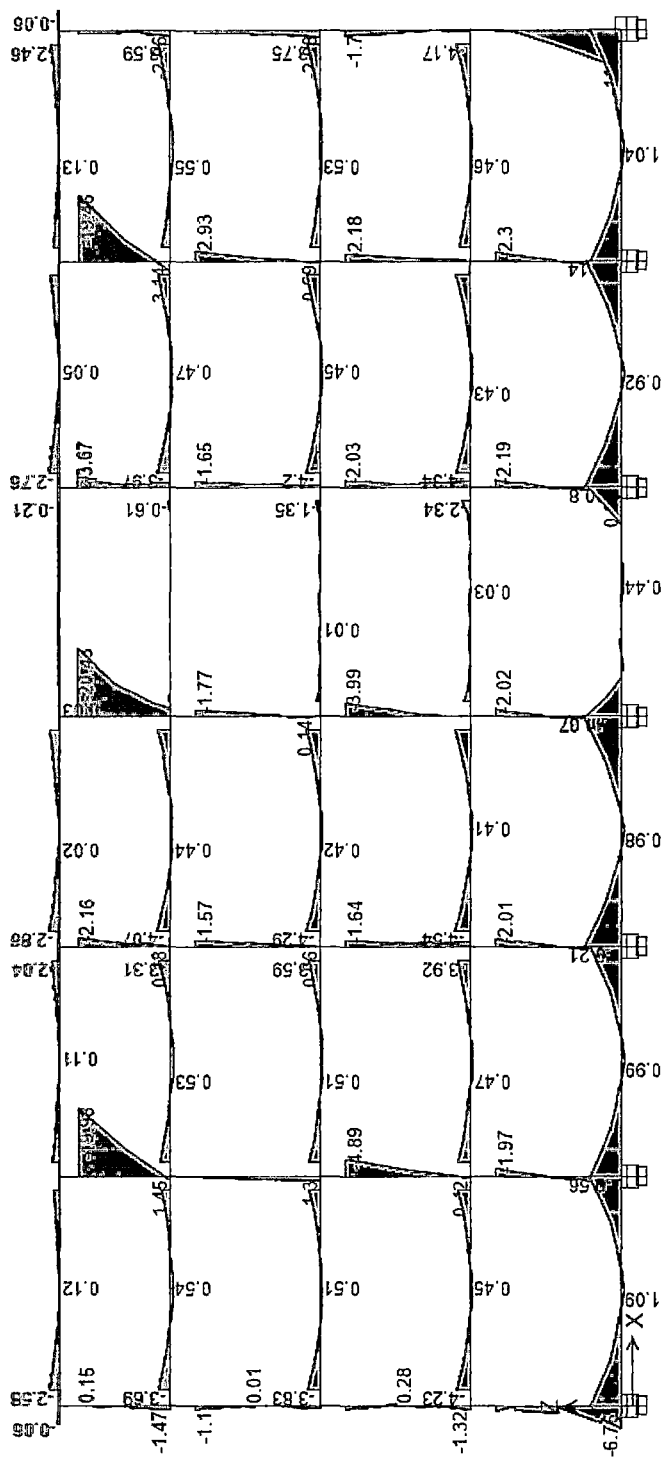


Figura 13.70. Diagrama de momento flector en eje H-H para el caso HDR1+HDR2 en ton-f*m.

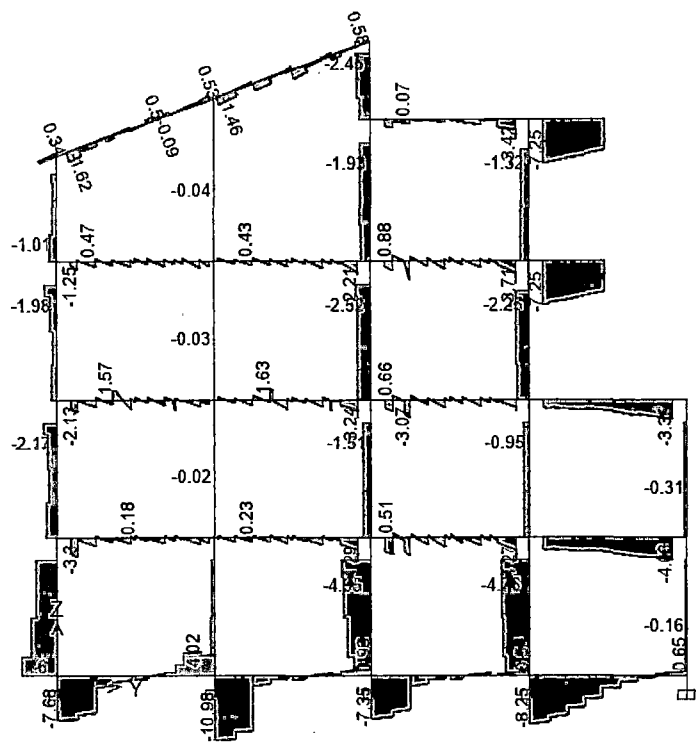


Figura 13.71. Diagrama de fuerza cortante en eje 1-1 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f.

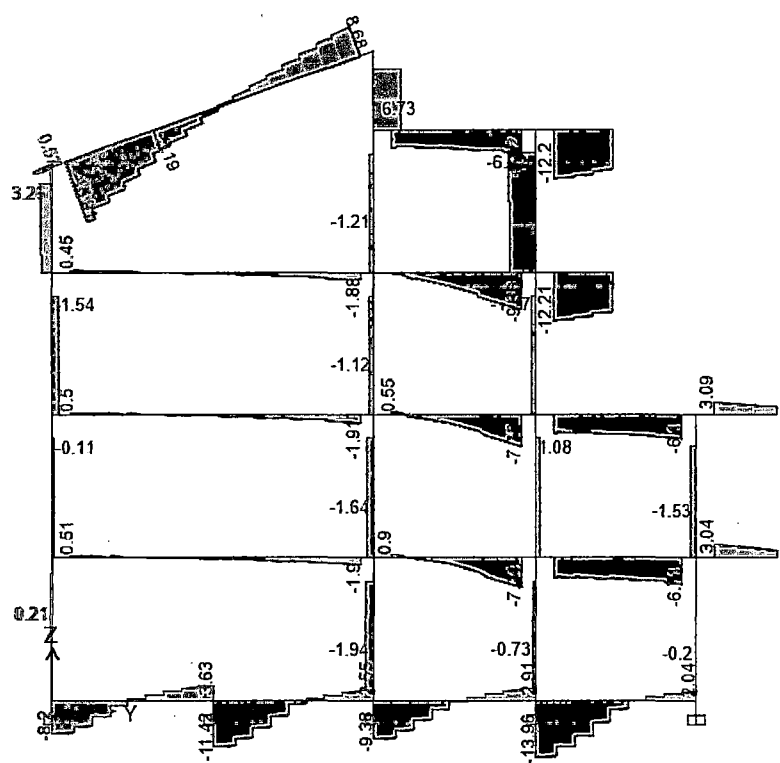


Figura 13.72. Diagrama de fuerza cortante en eje 4-4 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f.

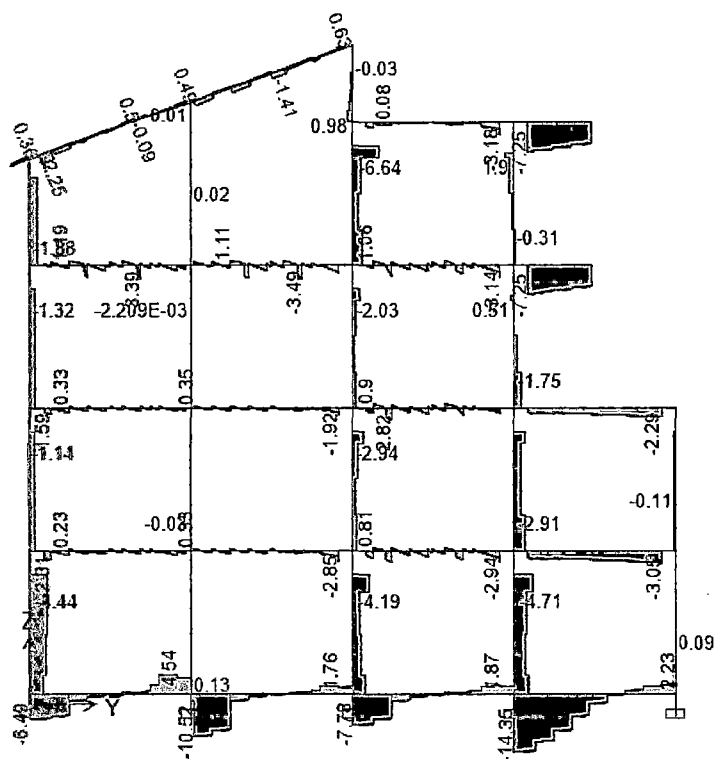


Figura 13.73. Diagrama de fuerza cortante en eje 7-7 para el caso HDR1+HDR2 en ton-f.

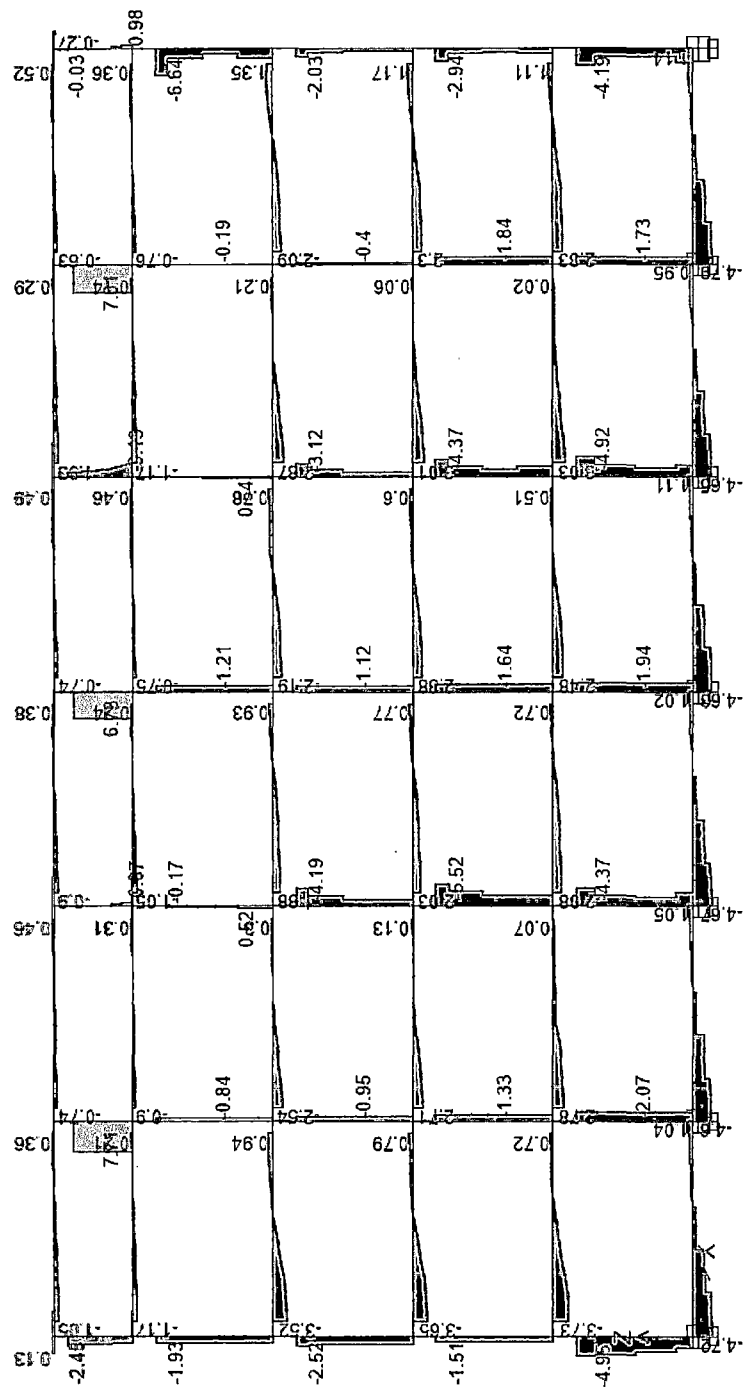


Figura 13.74. Diagrama de fuerza cortante en eje F-F para el caso HDR1+HDR2 en ton-f

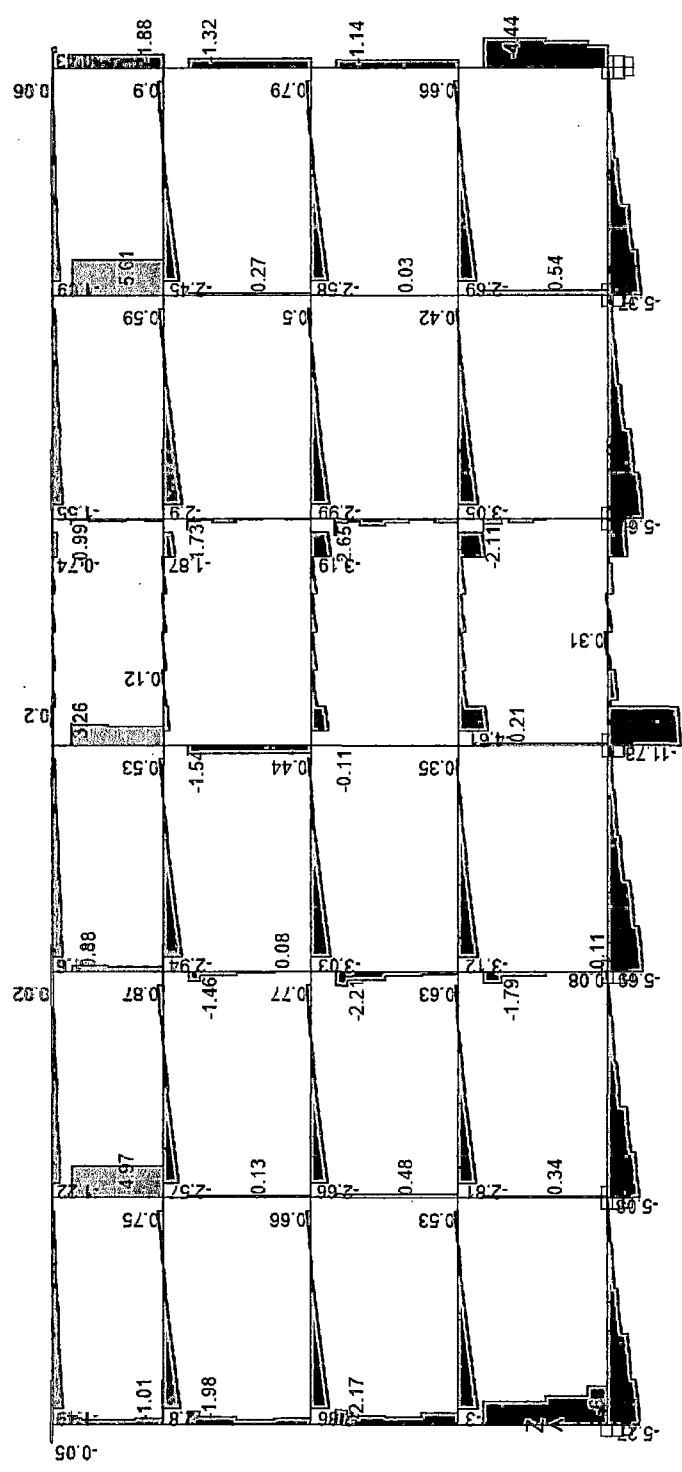


Figura 13.75. Diagrama de fuerza cortante en eje H-H para el caso HDR1+HDR2 en ton-f.

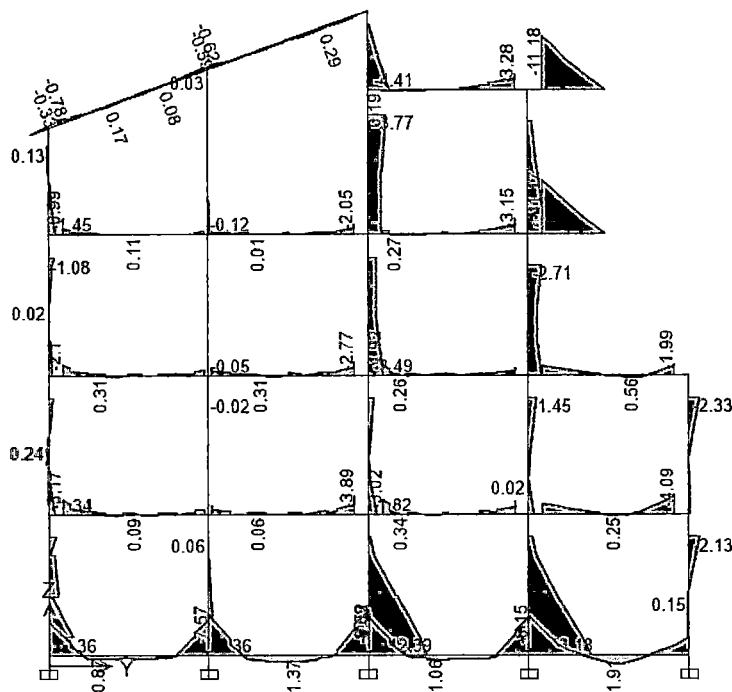


Figura 13.76. Diagrama de momento flector en eje 1-1 para el caso HDR+LRB en ton-f*m.

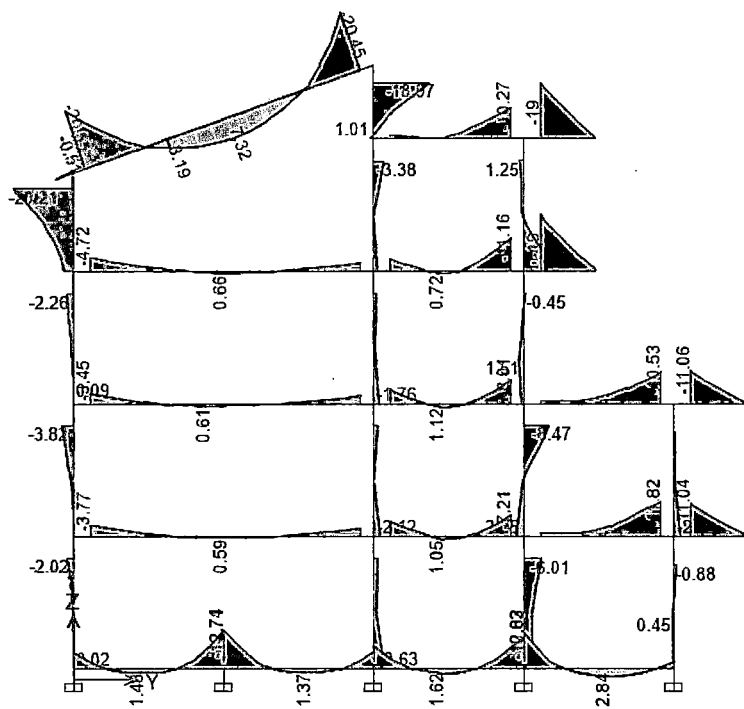


Figura 13.77. Diagrama de momento flector en eje 4-4 para el caso HDR+LRB en ton-f*m.

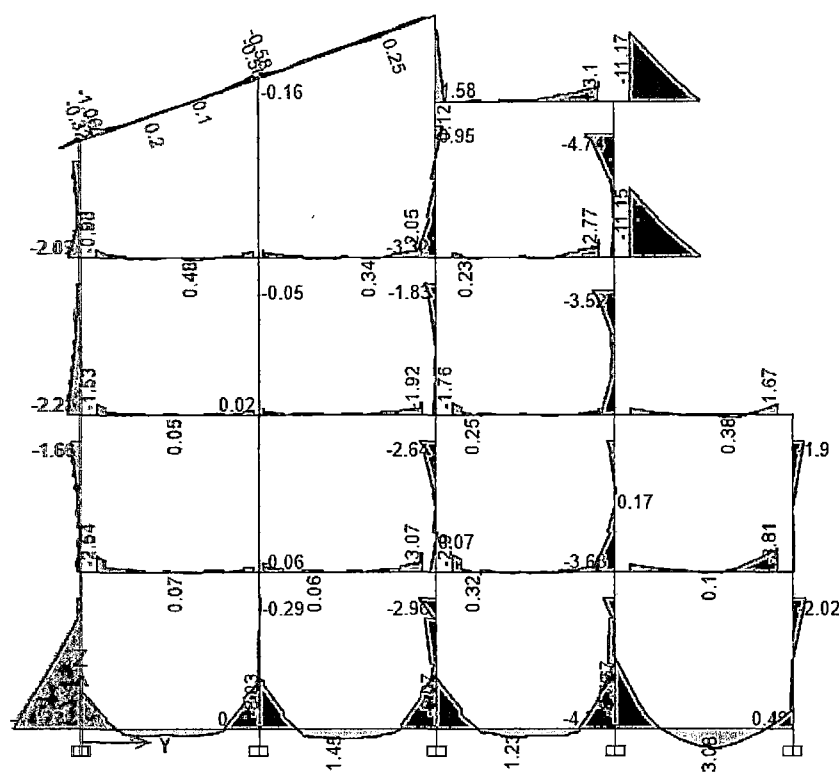


Figura 13.78. Diagrama de momento flector en eje 7-7 para el caso HDR+LRB en ton-f*m.

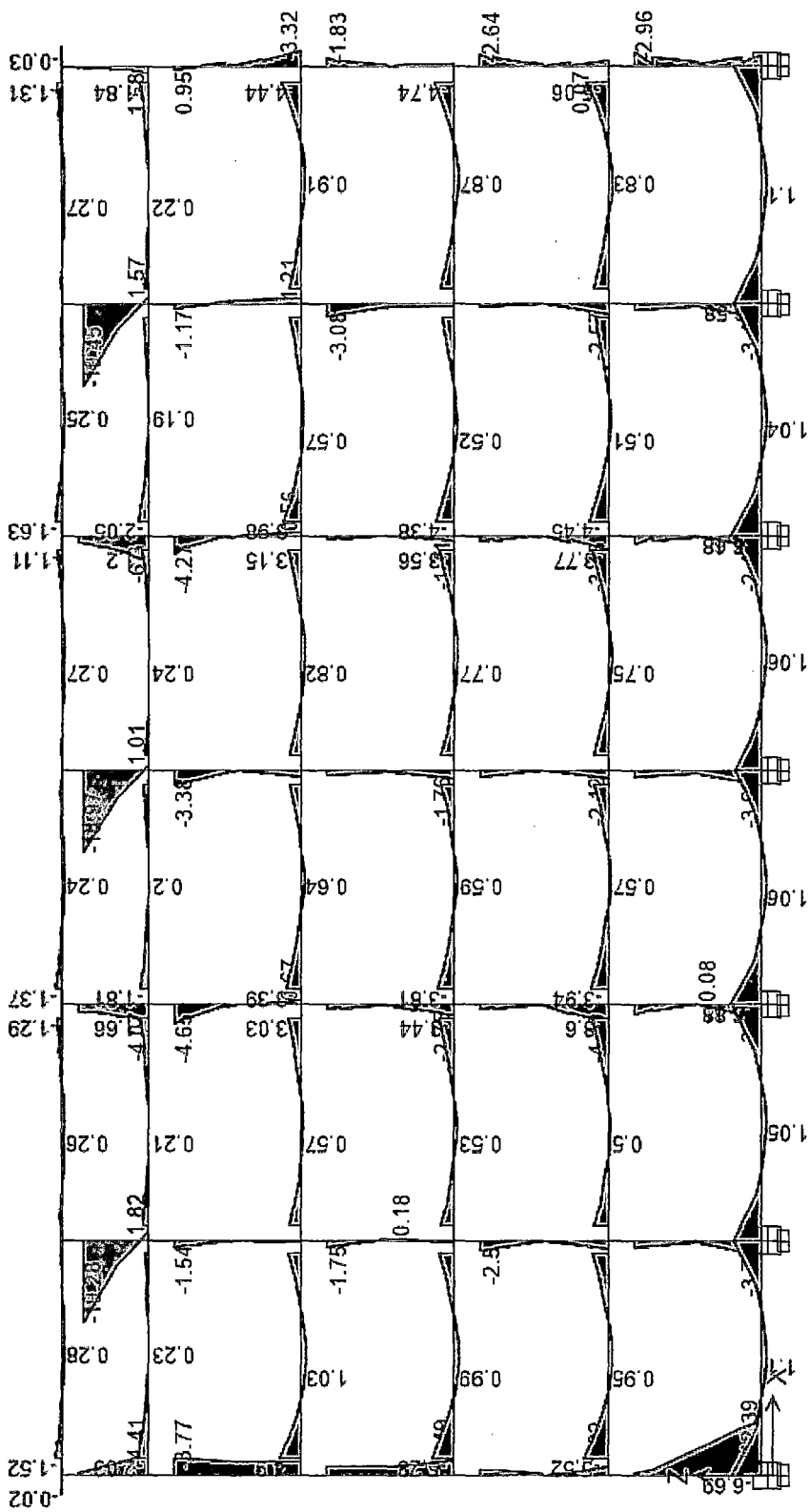


Figura 13.79. Diagrama de momento flector en eje F-F para el caso HDR+LRB en ton-f*m.

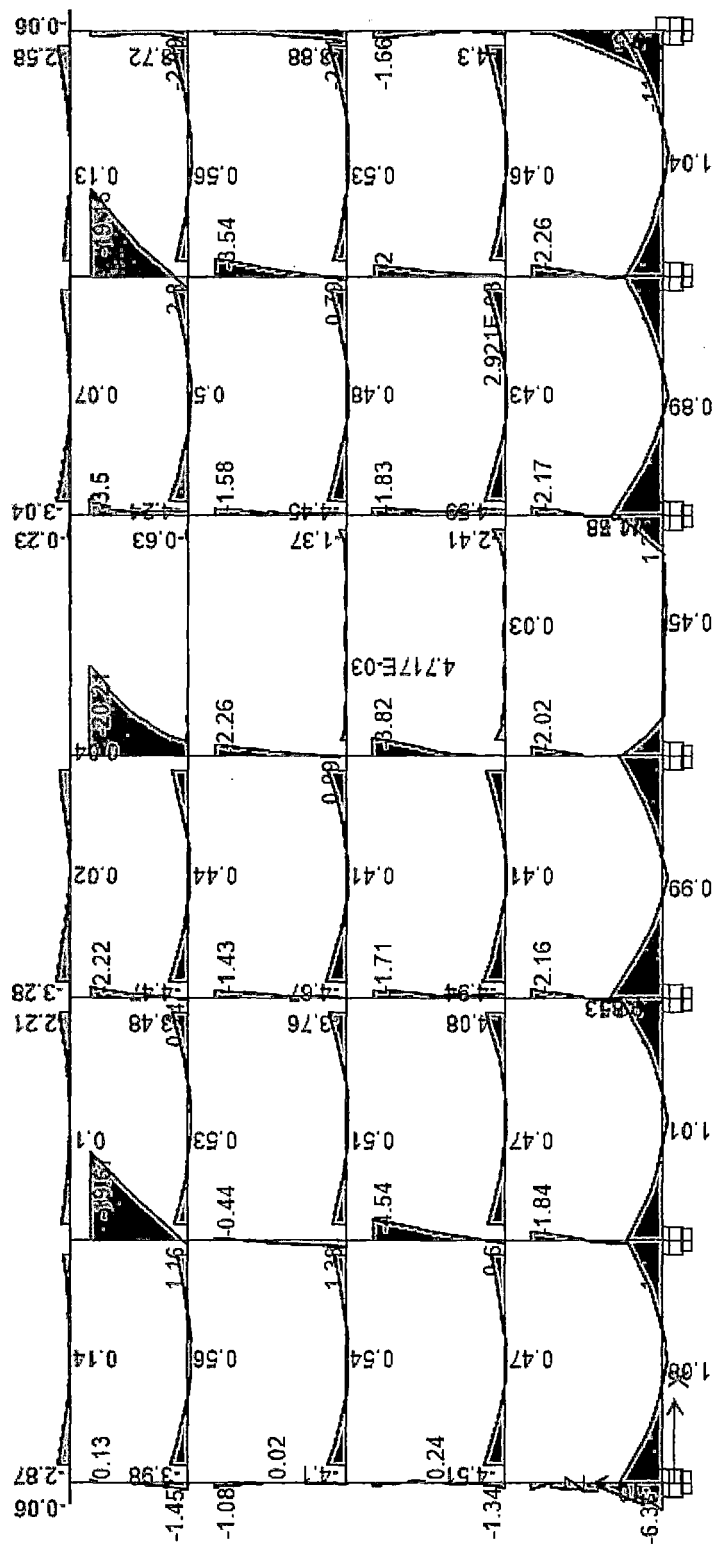


Figura 13.80. Diagrama de momento flector en eje H-H para el caso HDR+LRB en ton-f*m.

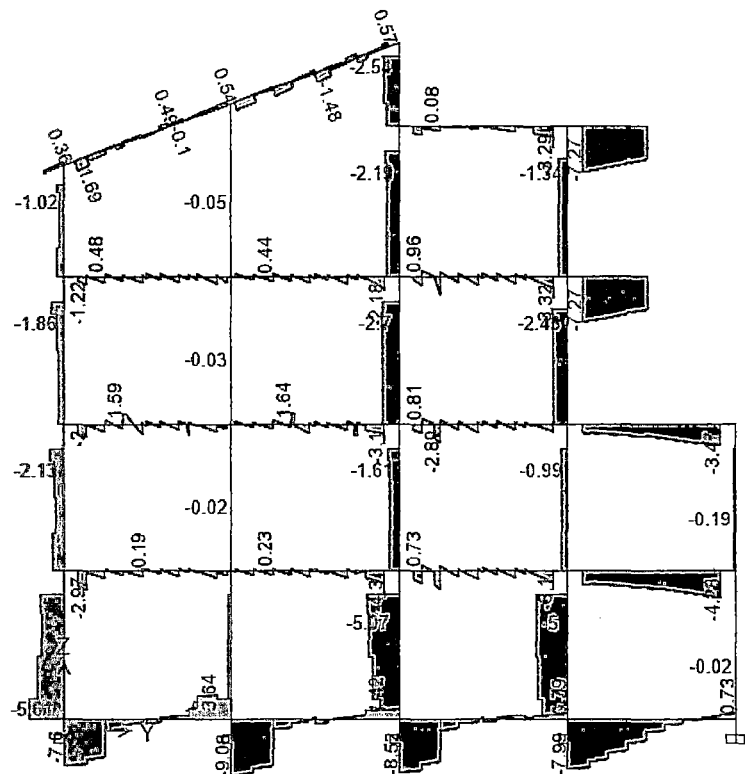


Figura 13.81. Diagrama de fuerza cortante en eje 1-1 para el caso HDR+LRB en ton-f.

Se hace una comparación entre los diagramas de momento flector del caso HDR con el empotrado en los ejes 1-1, 4-4 y F-F y se muestra en las figuras 13.86,13.87,13.88 respectivamente.

Se puede observar en las tres figuras que los esfuerzos de momento flector en el caso aislado es mucho menor que los del caso empotrado reduciéndolo al rededor del 80 %. Esto demuestra la efectividad del sistema de aislamiento.

Estas conclusiones puede ser generalizados para los otros casos de aislamiento: LRB, HDR1+HDR2 y HDR+LRB.

Se hace una comparación entre los diagramas de fuerza cortante del caso HDR con el empotrado en los ejes 1-1, 4-4 y F-F se muestra las figuras 13.89,13.90,13.91 respectivamente.

Se puede observar en las tres figuras que los esfuerzos de la fuerza cortante en

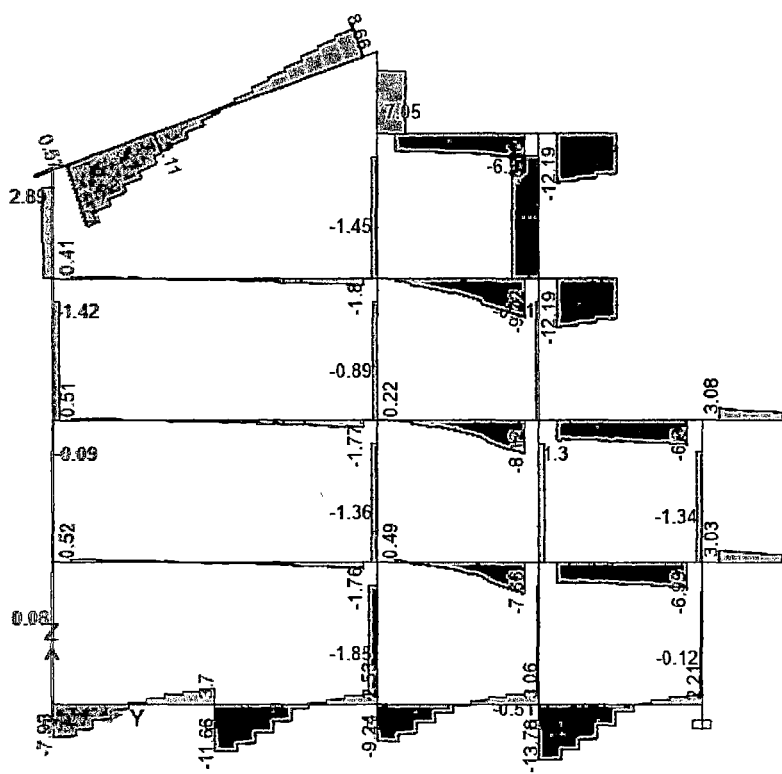


Figura 13.82. Diagrama de fuerza cortante en eje 4-4 para el caso HDR+LRB en ton-f.

el caso aislado es mucho menor que los del caso empotrado reduciéndolo al rededor del 80 %. Esto demuestra la efectividad del sistema de aislamiento.

Estas conclusiones puede ser generalizados para los otros casos de aislamiento: LRB, HDR1+HDR2 y HDR+LRB.

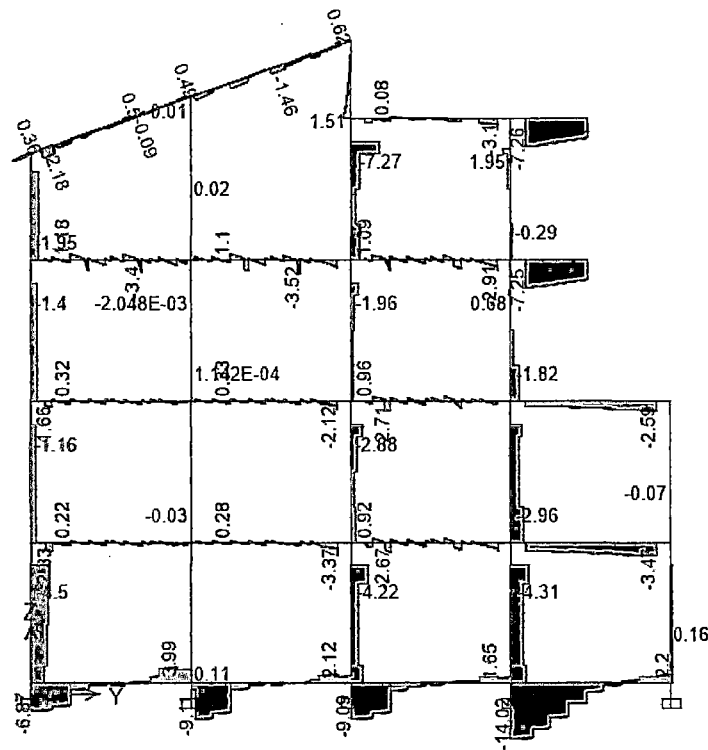


Figura 13.83. Diagrama de fuerza cortante en eje 7-7 para el caso HDR+LRB en ton-f.

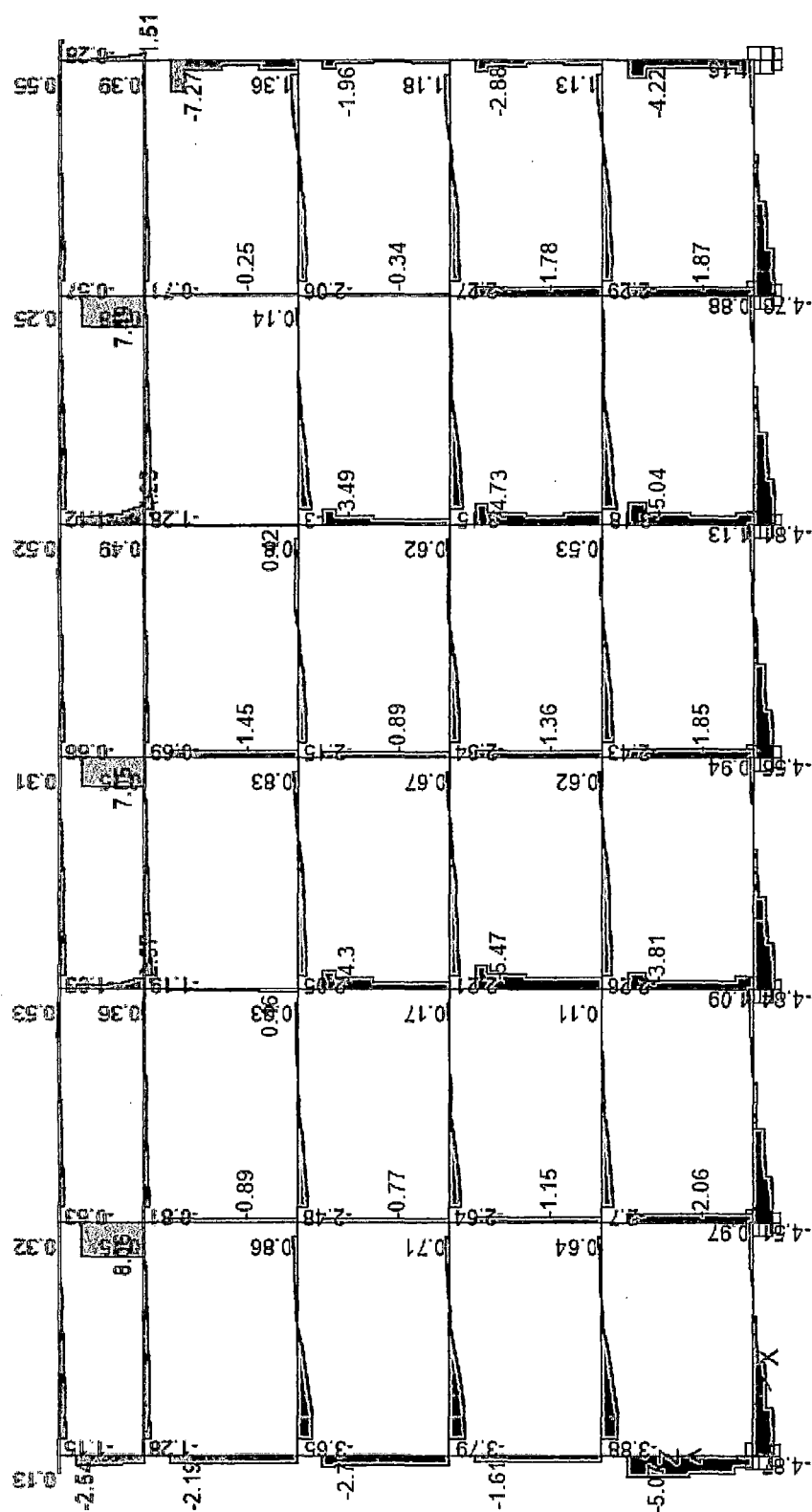


Figura 13.84. Diagrama de fuerza cortante en eje F-F para el caso HDR+LRB en ton-f.

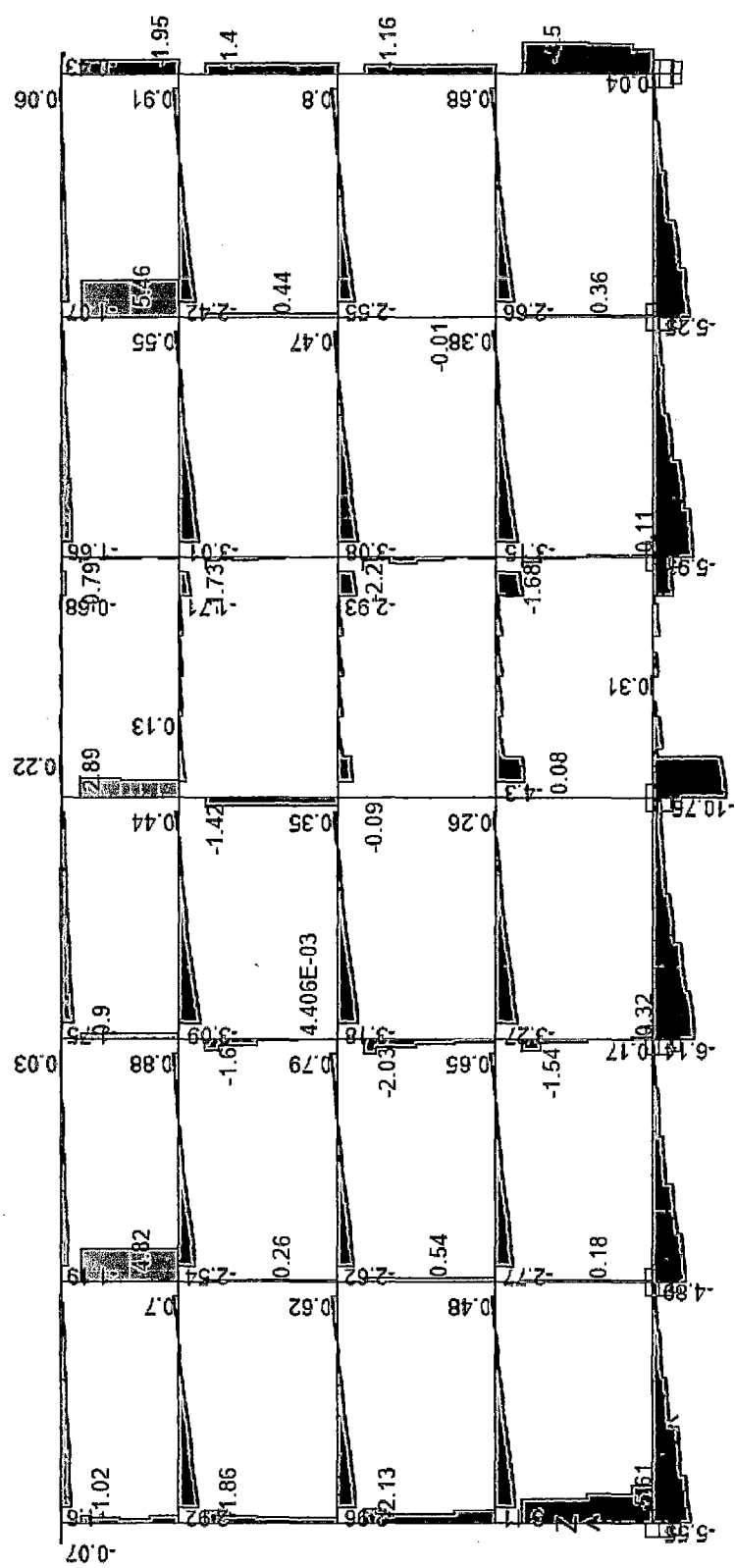


Figura 13.85. Diagrama de fuerza cortante en eje H-H para el caso HDR+LRB en ton-f.

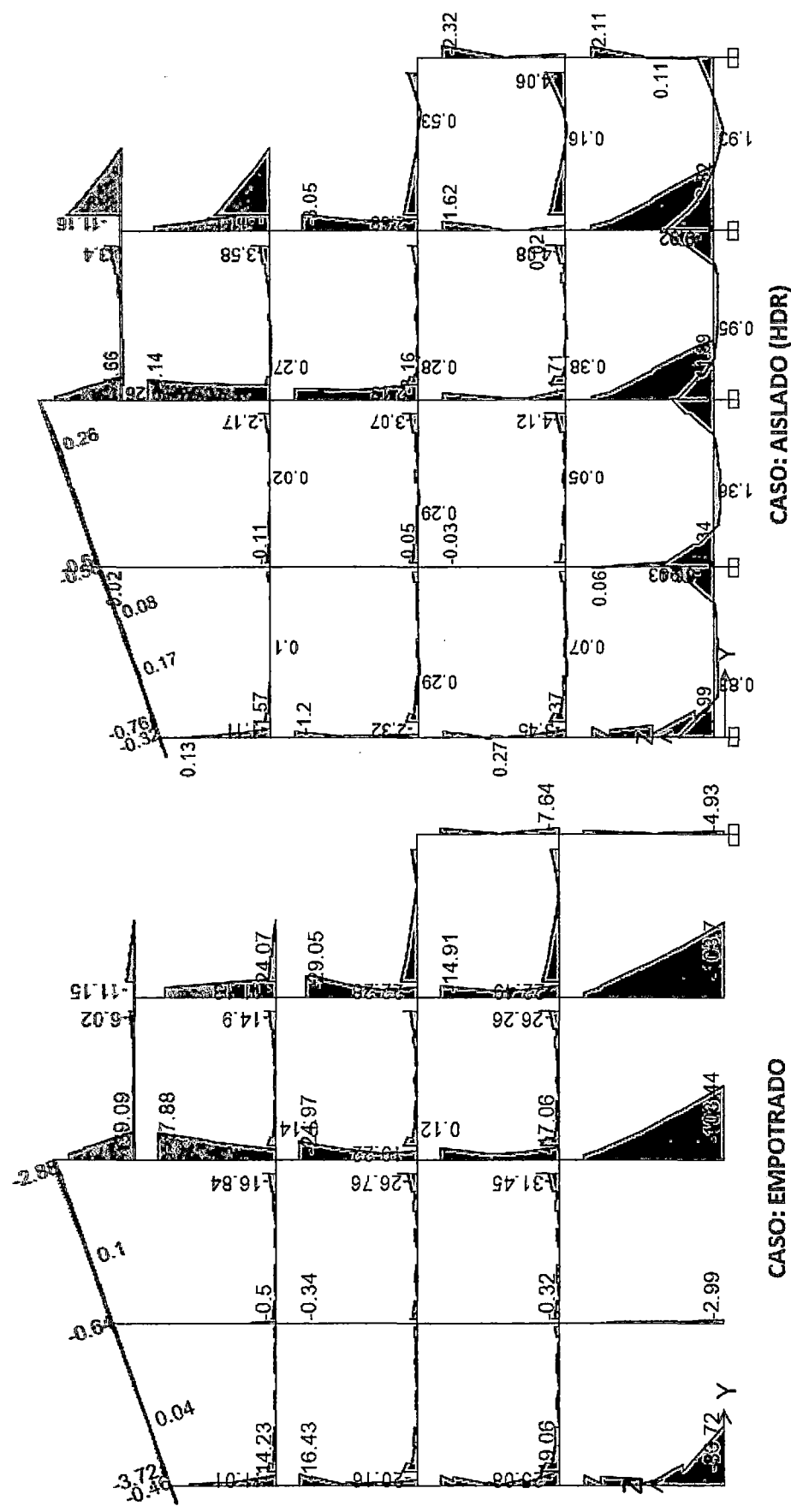


Figura 13.86. Comparación de diagrama de momento flector en el eje 1-1 para el caso HDR y empotrado.

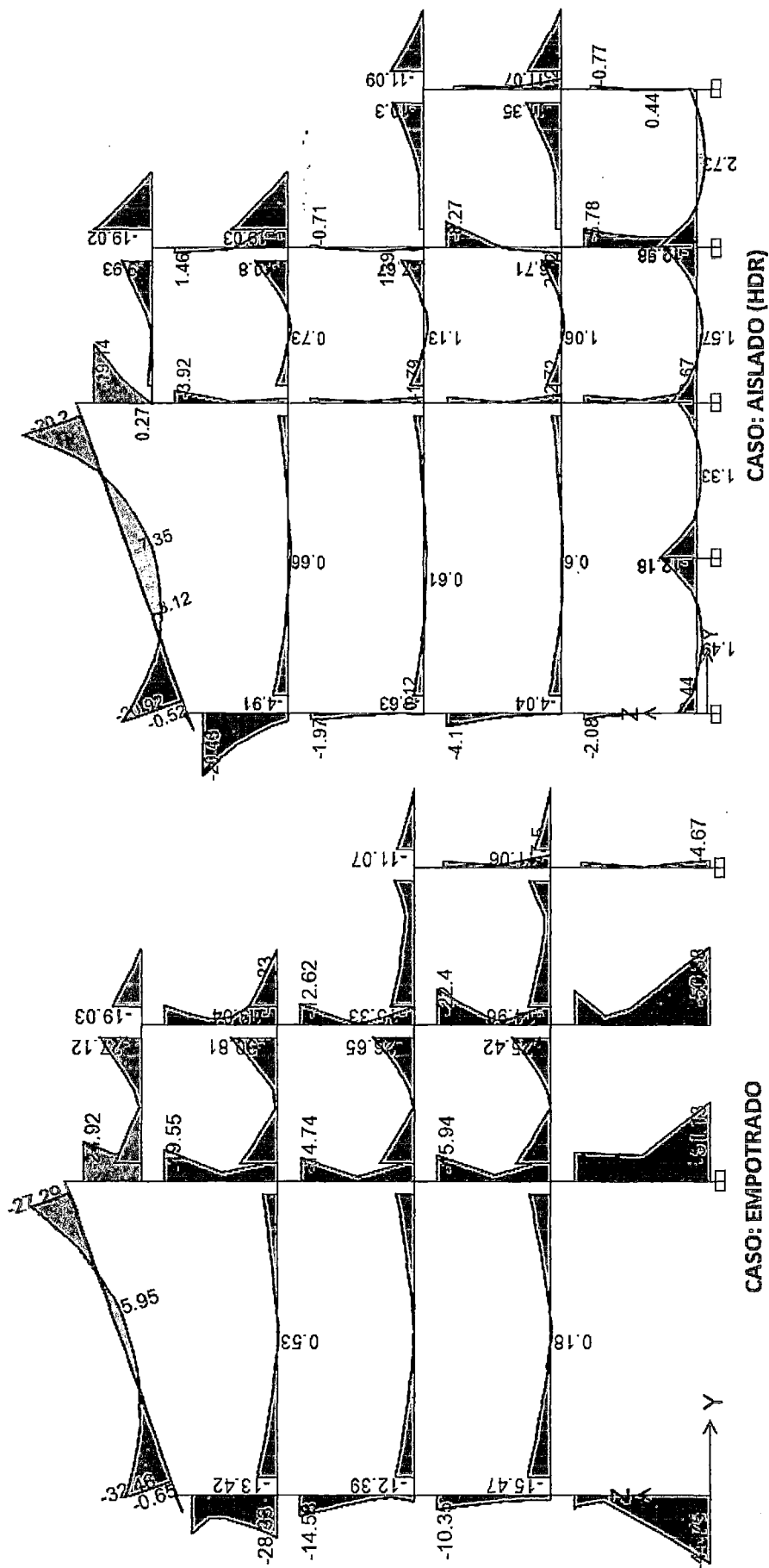


Figura 13.87. Comparación de diagrama de momento flector en el eje 4-4 para el

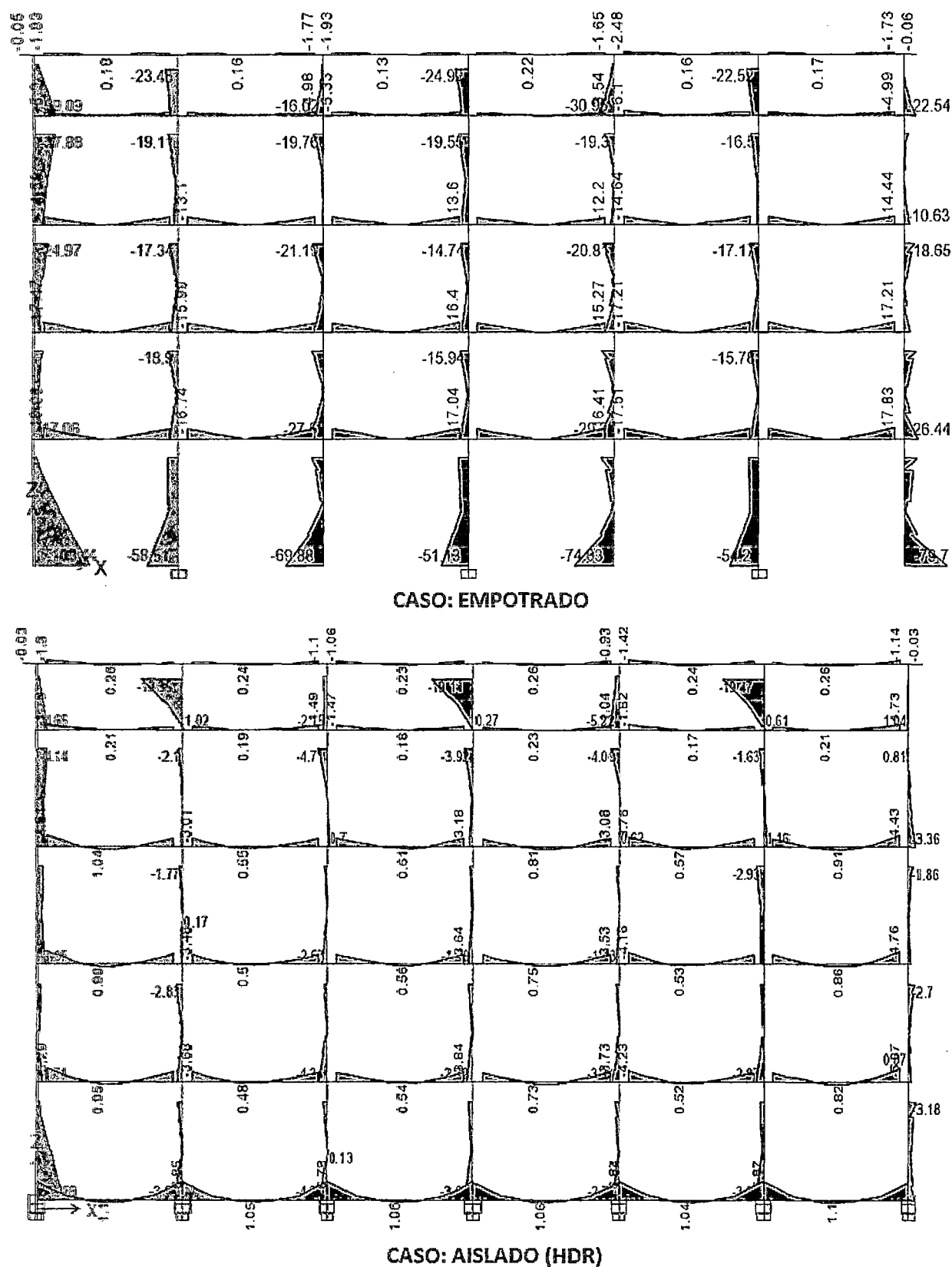


Figura 13.88. Comparación de diagrama de momento flector en el eje F-F para el caso HDR y empotrado.

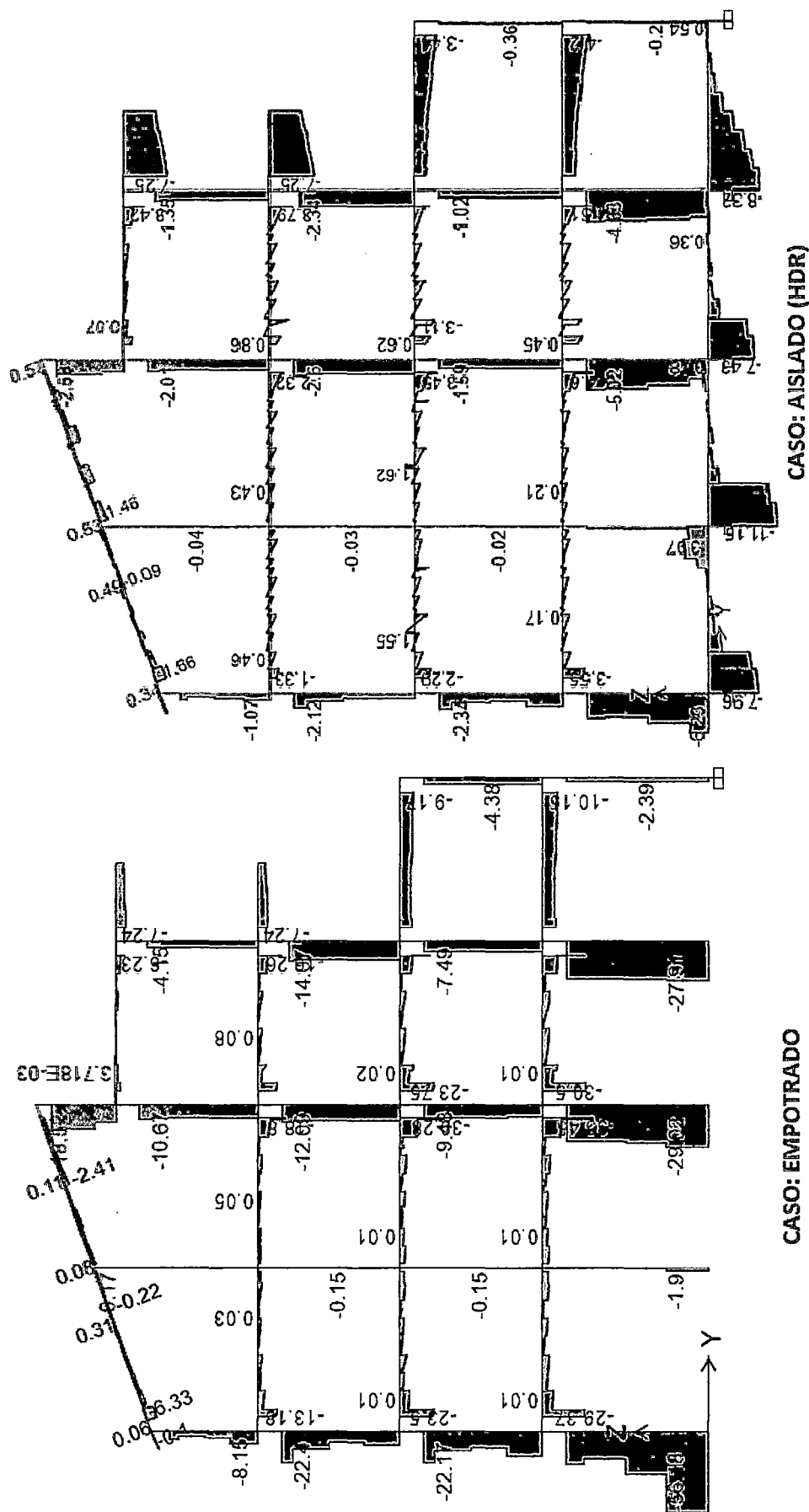


Figura 13.89. Comparación de diagrama de fuerza cortante en el eje 1-1 para el caso

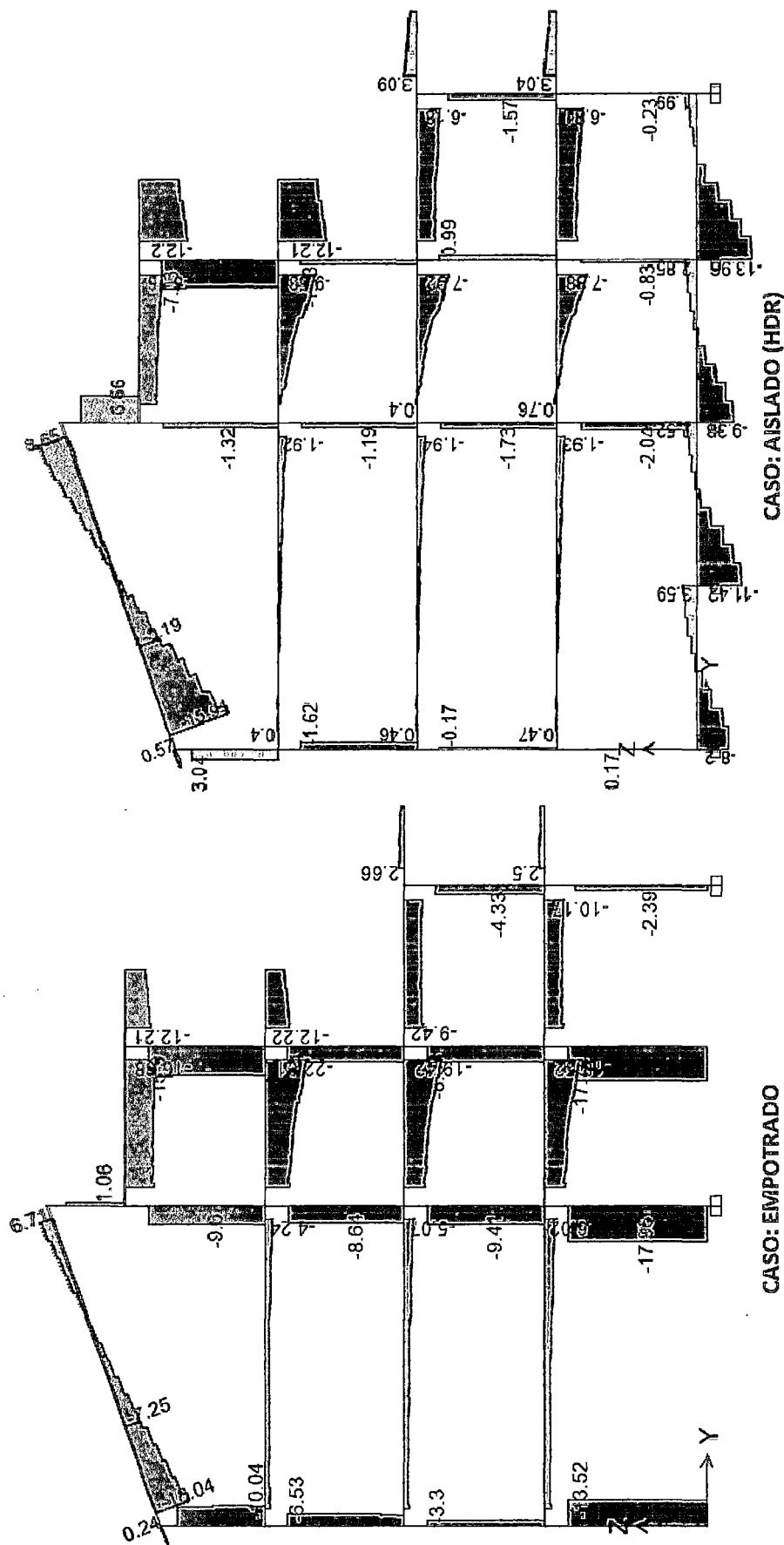


Figura 13.90. Comparación de diagrama de fuerza cortante en el eje 4-4 para el caso HDR y empotrado.

13.5. Diseño de Elementos de Concreto Armado.

1. *Diseño de Columnas y Vigas*

Para el diseño de los elementos de concreto armado se usara el reglamento ACI 318-11 , que es actualmente usado para este tipo de diseño.

De los dos análisis dinámicos expuestos se usara el análisis modal espectral.

De los cuatro casos de diseño expuestos: HDR, LRB , HDR1+HDR2 y HDR+LRB, se diseñara los refuerzos de acero de la cuarta opción.

Habiendo reducido los esfuerzos de momento flector en las columnas con el sistema aislado, es posible reducir las secciones de acero con respecto a la estructura empotrada. En la figura 13.92,13.93,13.94 y 13.95 se muestra los resultados de la reducción de los aceros en columnas.

En el programa Etabs V13 se da la opción de diseñar los elementos de concreto armado. En las figuras 13.96,13.97,13.98,13.99,13.100,13.101,13.102, 13.103, 13.104, 13.105,13.106,13.107 se muestran los resultados del diseño del acero longitudinal en los ejes: 1-1 ,2-2,3-3,4-4,5-5,6-6,7-7,8-8,D-D,E-E,F-F,H-H respectivamente. Todos ellos para el caso HDR+LRB.

En el anexo E se encuentran los planos diseñados con los requerimientos de acero longitudinal.

2. *Diseño de losa aligerada.*

Las luces de los tramos de las losas aligeradas son regularmente grandes, teniendo un ancho promedio de 6.0 m. Las secciones de viguetas tradicionales no serian suficientes para resistir las cargas en dicha luz.

Se proyecta el uso de viguetas prefabricadas las cuales tiene la propiedad de resistir grandes cargas en luces regularmente grandes.

El espesor de la losa proyectada sera de 25 cm y se usaran bloques de poliestireno para aminorar las cargas uniformes.

Se usaran las viguetas fabricadas por la casa Firth, cuyas características técnicas para el diseño son las siguientes:

a) Momentos admisibles de viguetas prefabricadas.

En la figura 13.108 se muestra los momentos máximos admisibles de acuerdo a la altura y distancia entre ejes de la losa aligerada.

Para el diseño, los momentos flectores últimos deben de ser menores a los momentos admisibles.

b) *Fuerzas cortantes admisible de vigas prefabricadas.*

Usando la formula de la fuerza cortante ultima del ACI-318:

$$\phi V_c = 1,1 * (0,85) * (0,53) * \sqrt{f'_c} * b_w * d \quad (13.27)$$

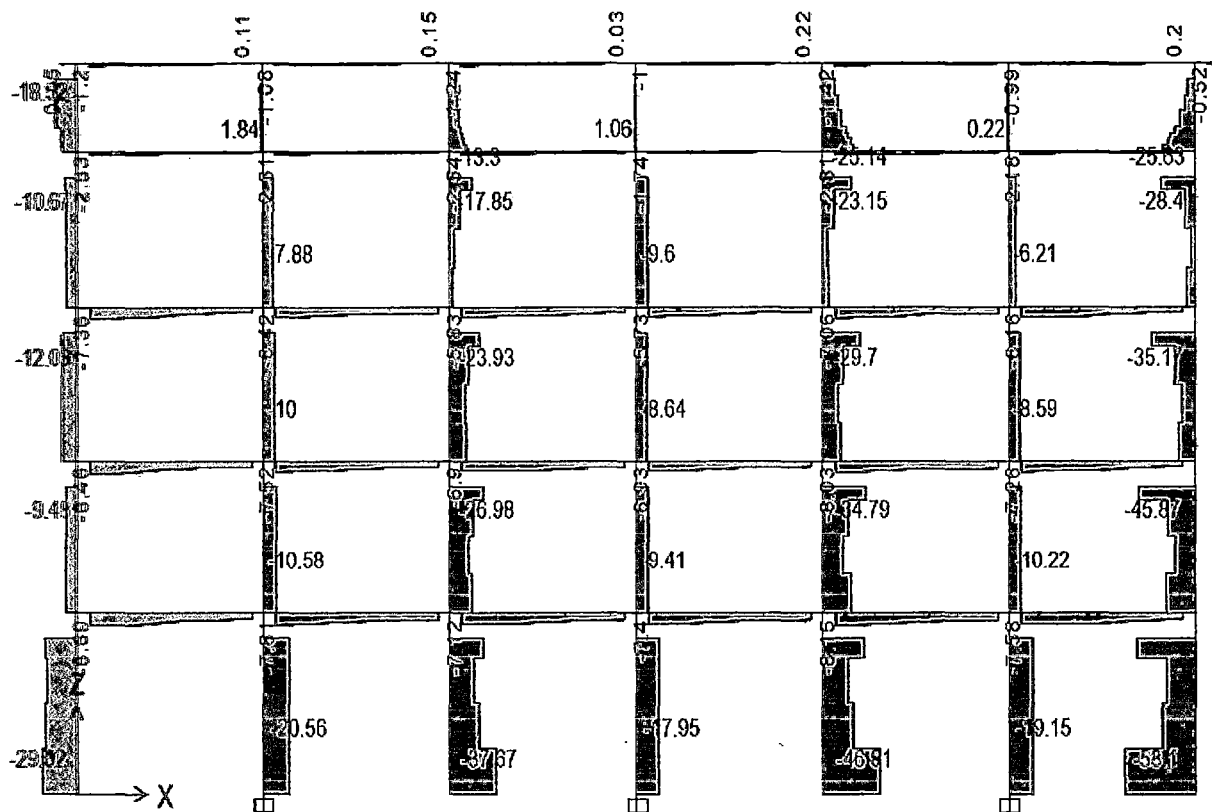
Donde según el fabricante:

$$b_w = 12 \text{ cm}$$

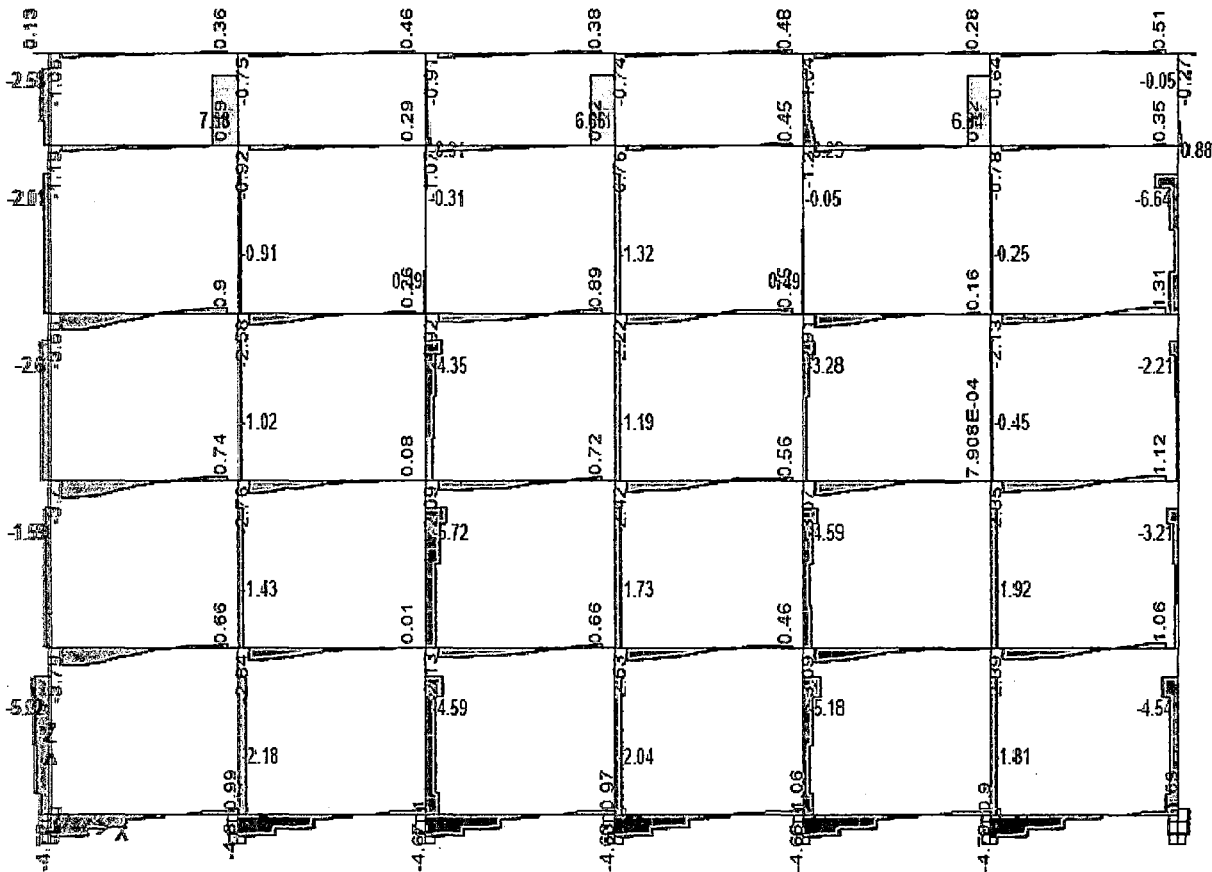
$$d = h - 2,5 \text{ cm} , \text{ siendo } h \text{ la altura total de la vigueta.}$$

para el diseño, las fuerzas cortantes ultimas deber de ser menores a las fuerzas cortantes de trabajo. En caso de no cumplirse se proyectaran ensanches alternos o corridos según sea el caso.

En la figura 13.109 se muestra las fuerzas cortantes de trabajo.



CASO: EMPOTRADO



CASO: AISLADO (HDR)

Figura 13.91. Comparación de diagrama de fuerza cortante en el eje F-F para el caso HDR v empotrado

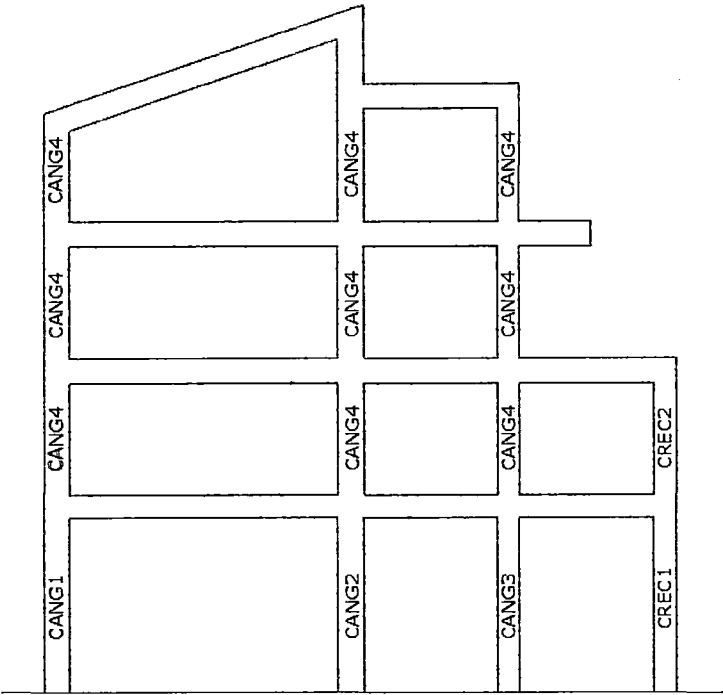


Figura 13.92. Pórtico representativo para ejes 1-1 y 7-7.

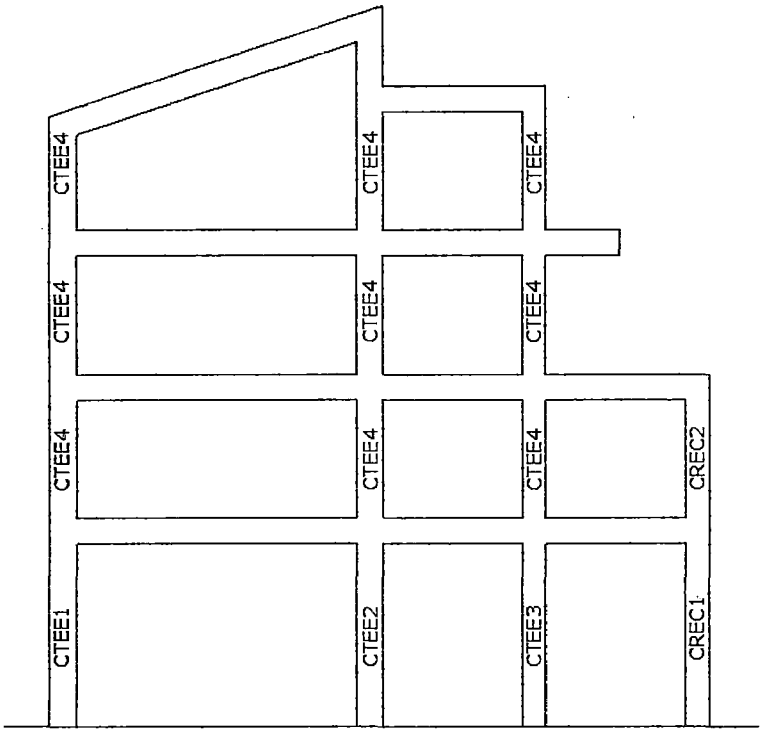


Figura 13.93. Pórtico representativo para ejes 2-2,3-3,4-4,5-5 y 6-6.

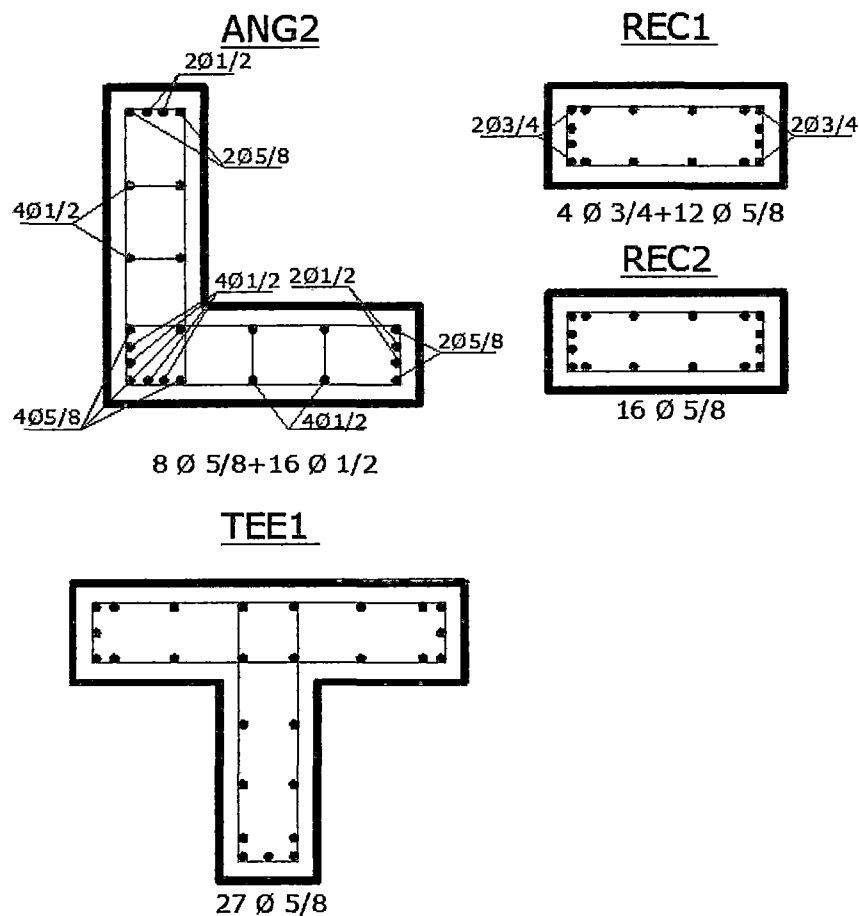


Figura 13.94. Secciones de acero reducidos para estructura aislada.

EJE/TIPO COL	CANG1	CANG2	CANG3	CANG4	CTEE1	CTEE2	CTEE3	CTEE4	COL1	COL2
EJE 1-1	ANG2	ANG2	ANG2	ANG2					REC2	REC2
EJE 2-2					TEE1	TEE1	TEE1	TEE1	REC1	REC2
EJE 3-3					TEE1	TEE1	TEE1	TEE1	REC1	REC2
EJE 4-4					TEE1	TEE1	TEE1	TEE1	REC1	REC2
EJE 5-5					TEE1	TEE1	TEE1	TEE1	REC1	REC2
EJE 6-6					TEE1	TEE1	TEE1	TEE1	REC1	REC2
EJE 7-7	ANG2	ANG2	ANG2	ANG2					REC1	REC2
EJE 8-8									REC2	REC2

Figura 13.95. Secciones para cada elemento por ejes.

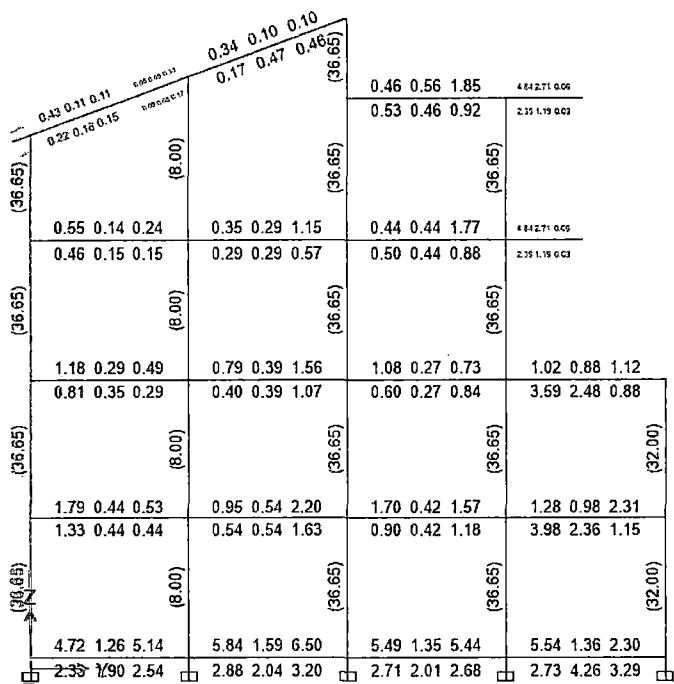


Figura 13.96. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 1-1 para el caso HDR.

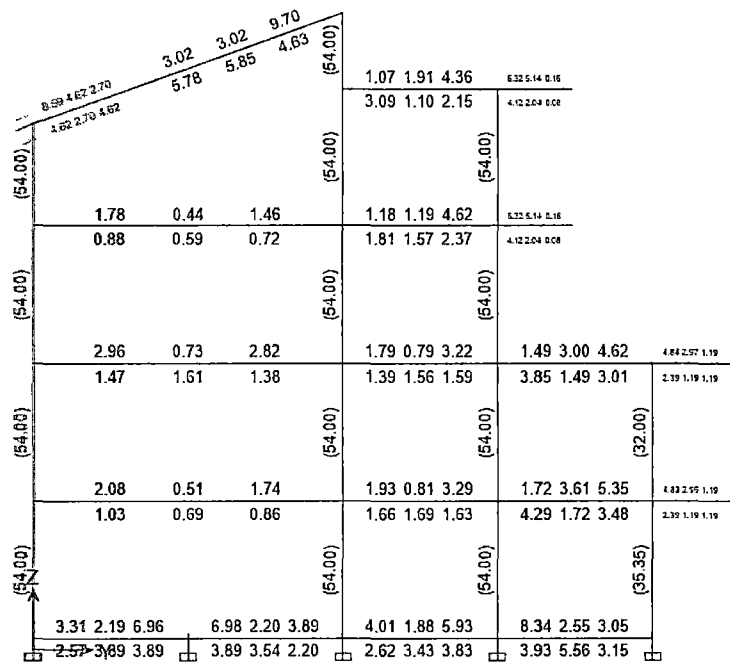


Figura 13.97. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 2-2 para el caso HDR.

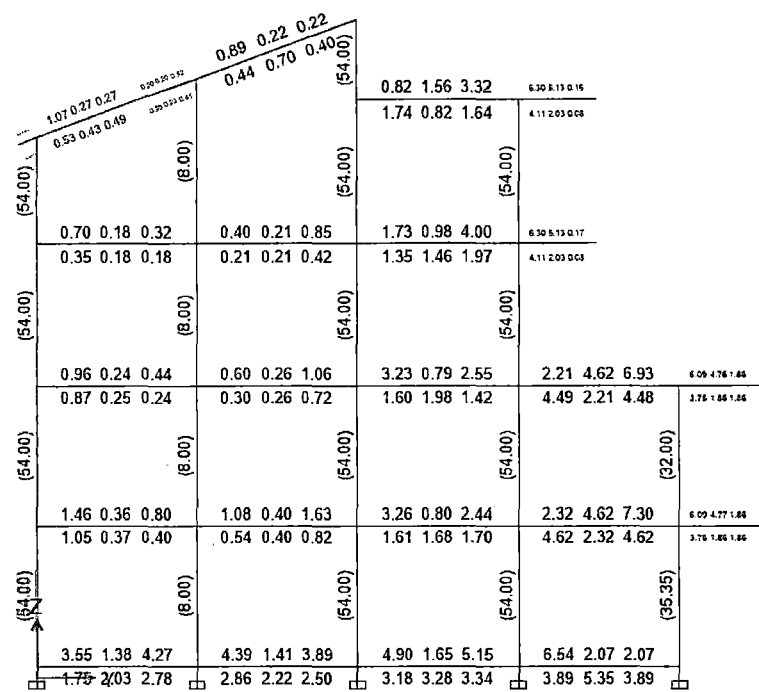


Figura 13.98. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 3-3 para el caso HDR.

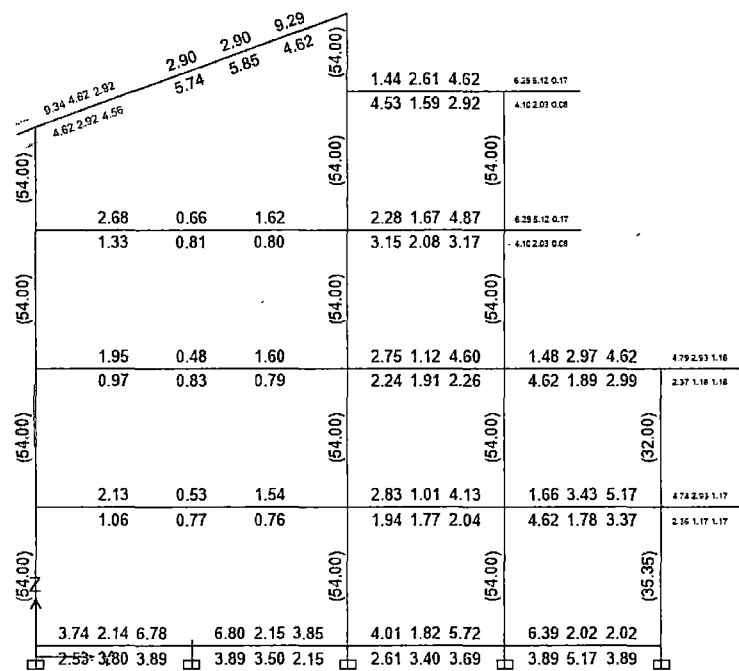


Figura 13.99. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 4-4 para el caso HDR.

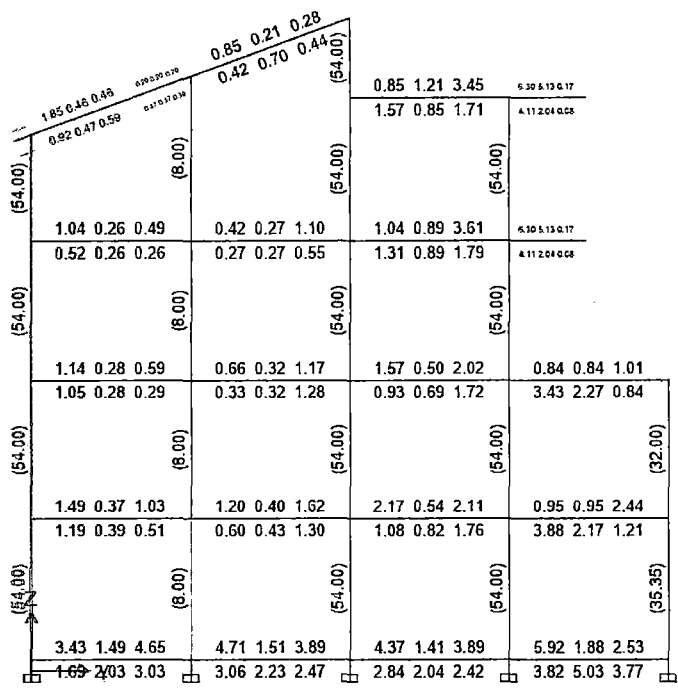


Figura 13.100. Diseño de aceros por momento flector en eje 5-5 para el caso HDR.

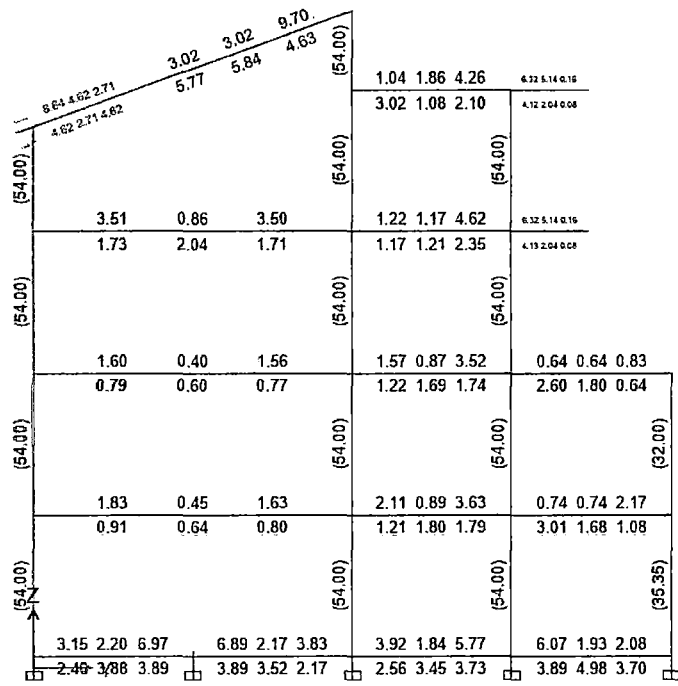


Figura 13.101. Diseño de aceros por momento flector en eje 6-6 para el caso HDR.

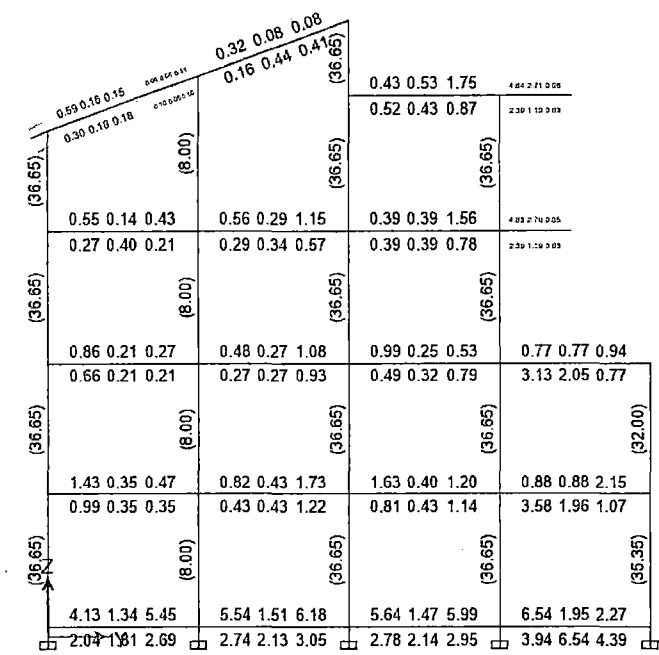


Figura 13.102. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 7-7 para el caso HDR.

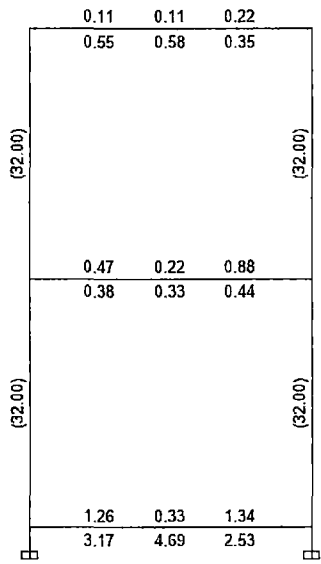


Figura 13.103. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje 8-8 para el caso HDR.

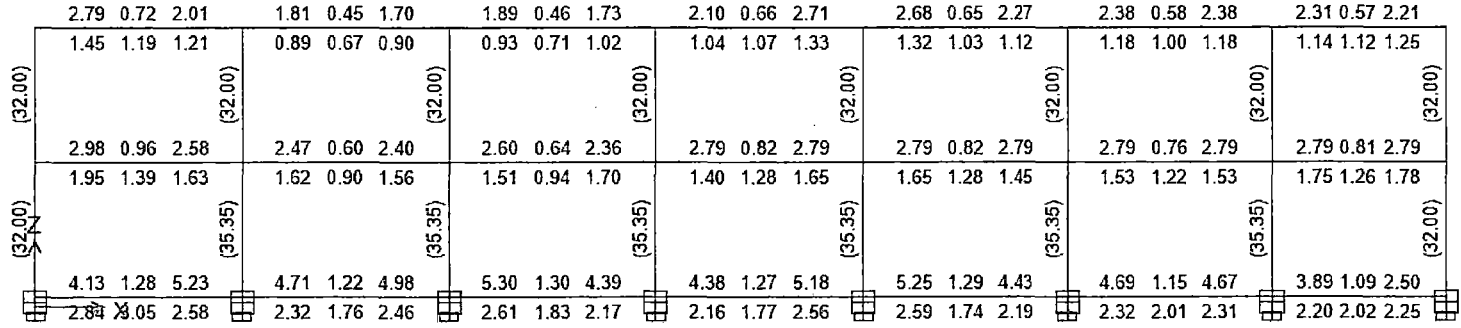


Figura 13.104. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje D-D para el caso HDR.

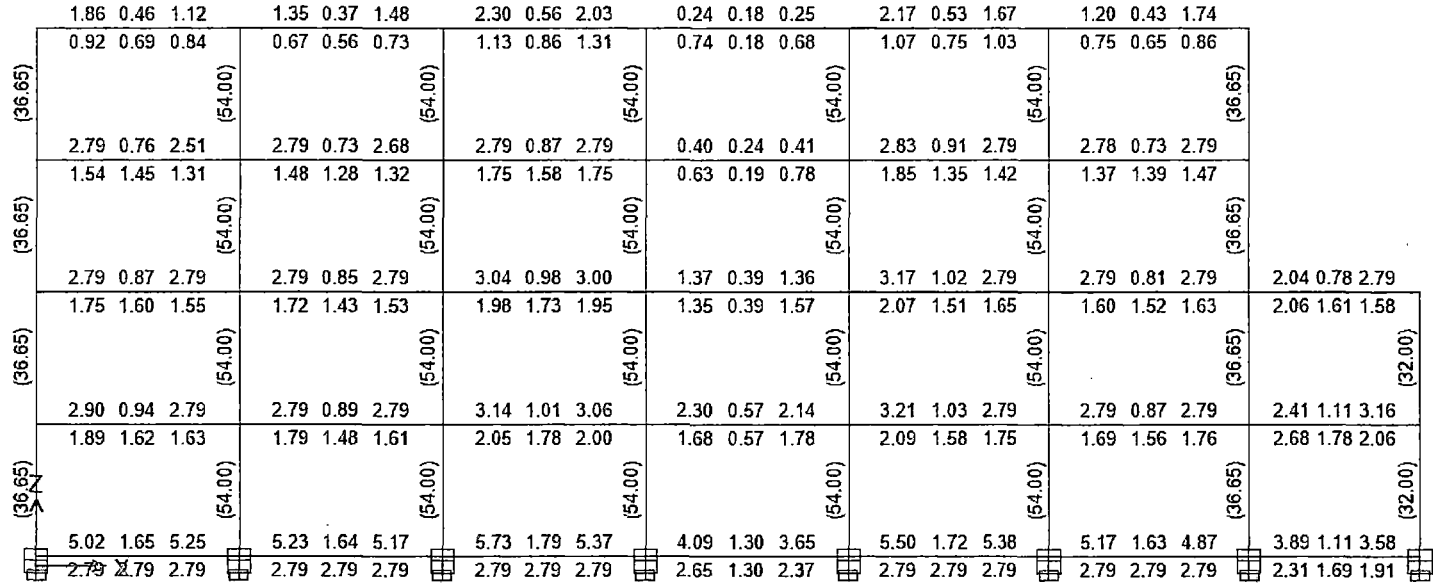


Figura 13.105. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje E-E para el caso HDR.

	2.73	0.67	1.38		1.71	0.51	2.09		2.79	0.76	2.39		0.16	0.11	0.21		2.79	0.71	1.97		1.51	0.60	2.45	
(36.65)	1.35	0.97	1.62	(54.00)	1.05	0.76	1.03	(54.00)	1.57	1.09	1.99	(54.00)	0.39	0.10	0.23	(54.00)	1.43	1.01	1.76	(54.00)	1.33	0.86	1.21	(36.65)
	2.88	0.93	2.33		2.79	0.81	2.79		3.24	1.04	2.79		0.39	0.22	0.59		3.07	0.99	2.79		2.56	0.87	2.79	
(36.65)	1.88	1.43	1.44	(54.00)	1.41	1.25	1.64	(54.00)	2.11	1.57	1.78	(54.00)	0.78	0.19	0.58	(54.00)	2.00	1.49	1.55	(54.00)	1.30	1.34	1.75	(36.65)
	2.96	0.96	2.71		2.79	0.88	2.79		3.40	1.09	2.94		1.06	0.34	1.28		3.23	1.04	2.79		2.79	0.90	2.80	
(36.65)	1.93	1.48	1.51	(54.00)	1.52	1.34	1.77	(54.00)	2.21	1.65	1.92	(54.00)	1.39	0.34	1.15	(54.00)	2.10	1.55	1.66	(54.00)	1.41	1.40	1.83	(36.65)
	3.28	1.05	2.79		2.79	0.95	2.95		3.60	1.15	3.06		1.96	0.56	2.28		3.34	1.07	2.79		2.79	1.00	3.12	
(36.65)	2.13	1.56	1.68	(54.00)	1.70	1.44	1.93	(54.00)	2.34	1.71	2.00	(54.00)	1.88	0.56	1.68	(54.00)	2.17	1.64	1.81	(54.00)	1.58	1.50	2.03	(36.65)
	5.65	1.67	5.65		5.65	1.65	5.65		6.31	2.03	5.65		5.65	1.80	5.65		6.06	1.96	5.65		5.65	1.59	5.65	
	3.37	2.55	2.84		2.82	2.28	3.32		4.11	2.87	3.97		3.15	1.80	3.63		3.95	2.60	3.39		2.94	2.53	3.20	

Figura 13.107. Diseño de aceros longitudinales por momento flector en eje H-H para el caso HDR.

	Altura de losa (cm)	Dist/Ejes (cm)	Peso Propio (Kg/m ²)		Momentos Admisibles (Kg-m) = ϕ Mn				
			Ladrillo	Poliestireno	V101	V102	V103	V104	V105
VIGUETA SIMPLE	17	60	245	180	760	1030	1290	1585	1965
	20	60	275	210	940	1280	1595	1965	2435
	25	60	330	250	1250	1660	2100	2595	3230
	17	50	245	180	760	1030	1290	1585	1965
	20	50	280	210	940	1280	1595	1965	2435
	25	50	335	250	1250	1660	2100	2595	3230
	30	50	400	300	1560	2020	2610	3230	4020
VIGUETA DOBLE (DDVV)	17	71	250	200	1470	1953	2445	2960	3600
	20	71	310	245	1835	2469	3055	3720	4540
	25	71	395	320	2445	3196	4070	4980	6110
	17	61	290	230	1470	1953	2445	2960	3600
	20	61	345	280	1835	2469	3055	3720	4540
	25	61	430	350	2445	3196	4070	4980	6110
	30	61	515	420	3055	3970	5090	6240	7690

Figura 13.108. Momentos admisibles de viguetas prefabricadas.

Losa	ϕVc	ϕVc
f'c losa in situ	210 Kg / cm ²	350 Kg / cm ²
17 cm	1.25 tn	1.60 tn
20 cm	1.50 tn	1.95 tn
25 cm	1.90 tn	2.50 tn
30 cm	2.40 tn	3.00 tn

Figura 13.109. Fuerzas cortantes de trabajo.

A continuación se muestra el proceso de diseño de las losas aligeradas:

a) *Fuerzas que actúan en las viguetas.*

Teniendo la altura de la losa propuesta de $h = 25 \text{ cm}$ se va a la figura 13.108 y ubicando para una vigueta simple de 25 cm de altura y 50 cm de distancia entre los ejes y usando bloques de poliestireno , el peso propio por metro cuadrado es de 250 kg/m².

Usando la carga ultima como la combinación de :

$$C_u = 1,4 * CM + 1,7 * CV \quad (13.28)$$

La carga muerta es equivalente a:

$$CM = 250 \text{ (Losa aligerada)} + 100 \text{ (Acabados)} = 350 \text{ Kg/m}^2$$

La carga viva es equivalente a:

- Pasadizos: $CV = 400 \text{ Kg/m}^2$
- Ambientes interiores: $CV = 300 \text{ Kg/m}^2$

Entonces las cargas ultimas por metro cuadrado es de:

- $C_{u1} = 1000 \text{ Kg/m}^2$
- $C_{u2} = 1170 \text{ Kg/m}^2$

Para un ancho tributario de vigueta de 50 cm se tiene:

- $C_{ut1} = 500 \text{ Kg/m}^2$
- $C_{ut2} = 585 \text{ Kg/m}^2$

b) *Diagramas de momento flector y fuerza cortante.*

Se obtuvieron dos cortes longitudinales de lo ejes mas representativos: Eje D-D y F-F, para obtener las distancias de referencia y obtener los diagramas.

En la figura 13.110 se muestra los dos modelos de viga continua cargados con cada tramo de 6.0 m de longitud.

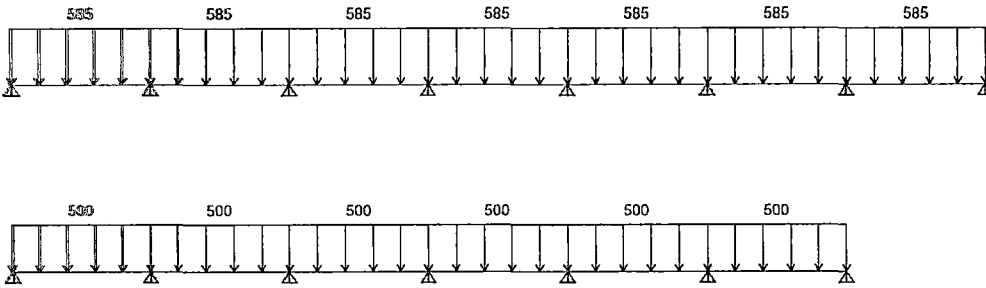


Figura 13.110. Vigas continuas cargadas para diseño de viguetas.

En la figura 13.111 se muestra los diagramas de momento flector en unidades $\text{Kg-f}^*\text{m}$, para los dos casos de carga.

En la figura 13.112 se muestra el diagrama de fuerza cortante en unidades Kg-f , para los dos casos de carga.

c) *Diseño por momento flector.*

El momento flector positivo estará controlado por las viguetas prefabricadas y el negativo por bastones de acero dispuestos.

En la figura 13.111 los momentos máximos positivos para los casos C_{ut1} y C_{ut2} son 1399.17 y 1638.15 $\text{kg-f}^*\text{m}$ respectivamente.

Se usara la vigueta tipo V103 de 25 cm de espesor de losa que tiene un momento admisible de 2100 $\text{Kg-f}^*\text{m}$ la cual es superior a los momentos últimos encontrados.

Los momentos máximos negativos para los casos C_{ut1} y C_{ut2} son 1902.07 y 2222.63 $\text{kg-f}^*\text{m}$ respectivamente.

En las figuras 13.113 y 13.114 se muestra el calculo de la accro negativo para dichos momentos.

d) *Diseño por fuerza cortante.*

En la figura 13.112 la fuerza cortante positiva máxima para los casos C_{ut1} y C_{ut2} son 1817.01 y 2125.44 $\text{kg-f}^*\text{m}$ respectivamente.

La fuerza cortante negativa máxima para los casos C_{ut1} y C_{ut2} son -1817.01 y -2125.44 $\text{kg-f}^*\text{m}$ respectivamente.

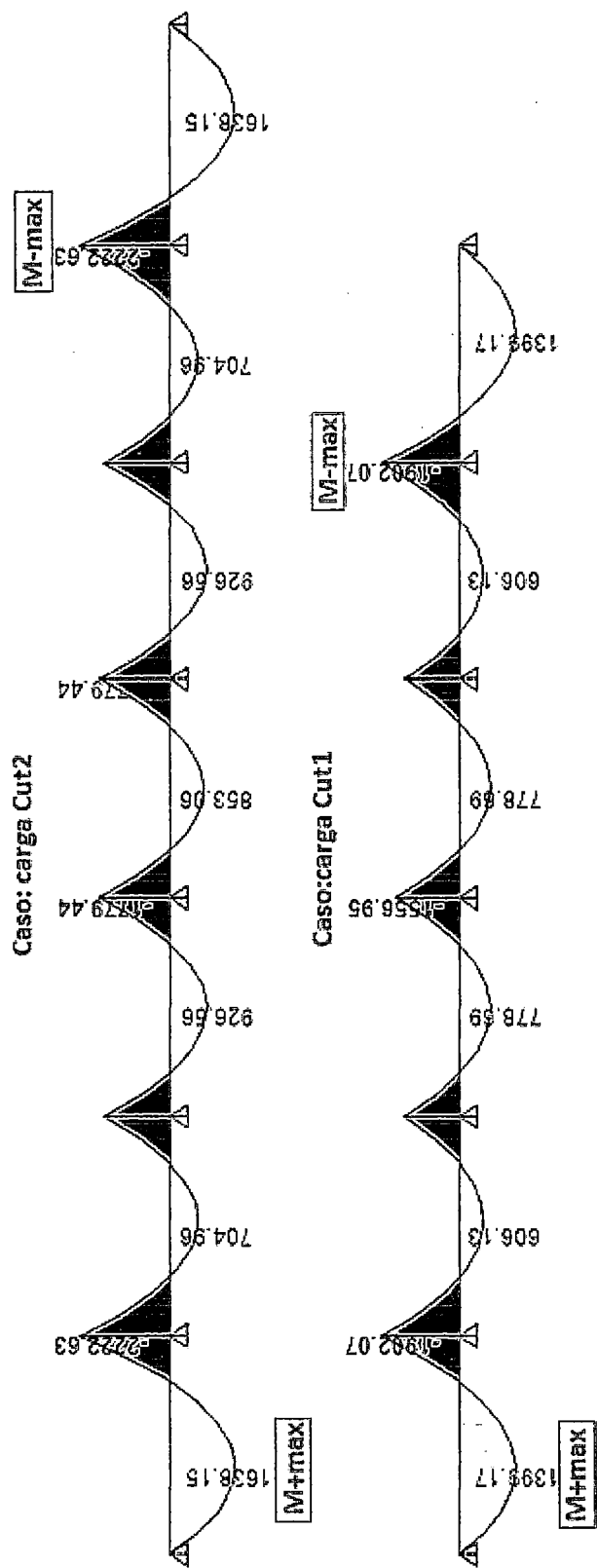


Figura 13.111. Diagramas de momento flector de vigueta casos de carga C_{ut1} y C_{ut2}

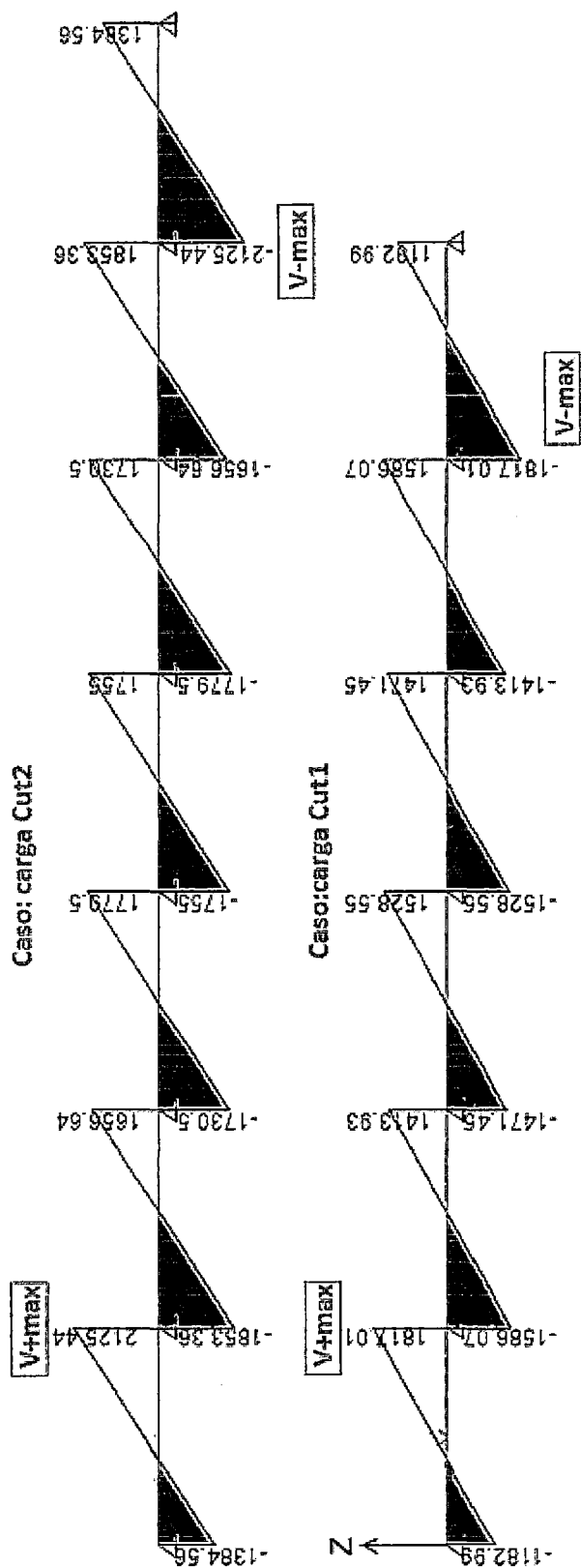


Figura 13.112. Diagrama de fuerza cortante de viga caso de carga C_{ut1} y C_{ut2} .

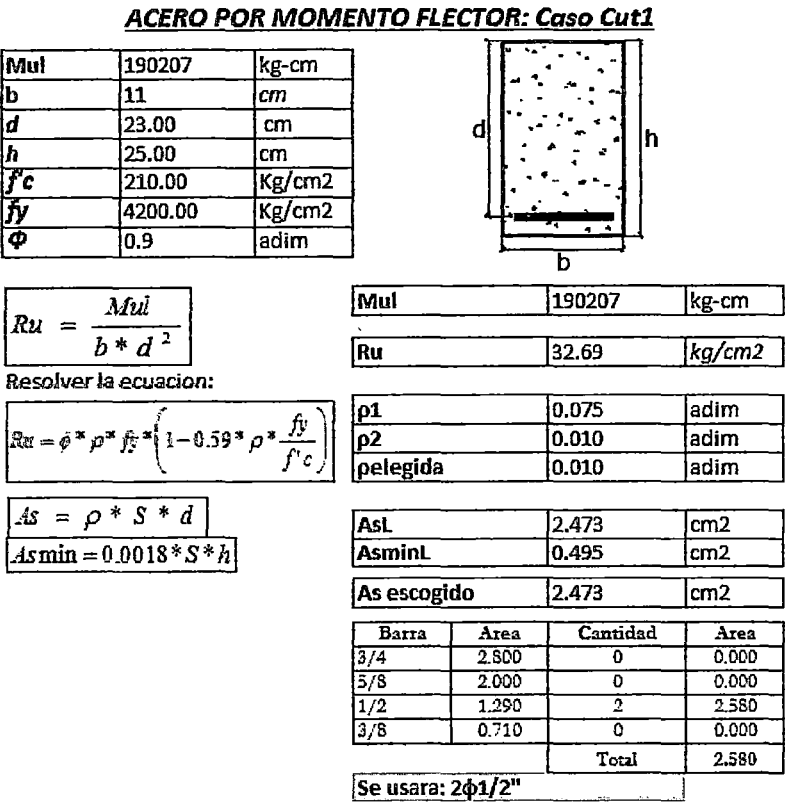


Figura 13.113. Calculo del refuerzo de acero para momento Mu=1902.07 kg-f*m

Según la figura 13.109 la fuerza cortante de trabajo para una losa de concreto 210 Kg-f/cm2 es de 1900 kg-f.

Se puede observar que en algunos casos se supera la fuerza cortante de trabajo, es necesario usar ensanches alternados para cumplir con este requerimiento.

Al usar el ensanche alternado se recalcula la fuerza cortante de trabajo:

$$\emptyset V_c = 1,1 * 0,85 * 0,53 * \sqrt{f'_c} * b_w * d = 1,1 * 0,85 * 0,53 * \sqrt{210} * (12 + 19) * 22,5 = 5008,88 \text{ Kg-f}$$

(13.29)

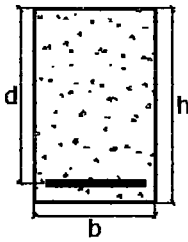
Se observa que la fuerza cortante 5008.88 Kg-f es mucho mayor a las fuerzas cortantes ultimas del diagrama, entonces se cumple esta condición usando ensanches alternos.

Se usara ensanches alternos a ambos lados de la viga principal en los ejes: 2-2 entre D-D Y H-H, 6-6 entre D-D Y H-H y el eje 7-7 entre D-D Y E-E.

Se usara ademas como acero de temperatura Ø1/4" α 25 cm en los dos sentidos.

ACERO POR MOMENTO FLECTOR: Caso Cut2

Mul	222263	kg-cm
b	11	cm
d	23.00	cm
h	25.00	cm
f'c	210.00	Kg/cm2
fy	4200.00	Kg/cm2
Φ	0.9	adim



$$Ru = \frac{Mul}{b * d^2}$$

Resolver la ecuacion:

$$Ru = \phi * \rho * fy * \left(1 - 0.59 * \rho * \frac{fy}{f'c}\right)$$

$$As = \rho * S * d$$

$$Asmin = 0.0018 * S * h$$

Mul	222263	kg-cm
-----	--------	-------

Ru	38.20	kg/cm2
----	-------	--------

p1	0.073	adim
----	-------	------

p2	0.012	adim
----	-------	------

pelegida	0.012	adim
----------	-------	------

AsL	2.967	cm2
-----	-------	-----

AsminL	0.495	cm2
--------	-------	-----

As escogido	2.967	cm2
-------------	-------	-----

Barra	Area	Cantidad	Area
3/4	2.800	0	0.000
5/8	2.000	0	0.000
1/2	1.290	2	2.580
3/8	0.710	1	0.710
Total			3.290

Se usara: 2φ1/2"+1φ3/8"

Figura 13.114. Calculo del refuerzo de acero para momento Mu=2222.63 kg-f*m.

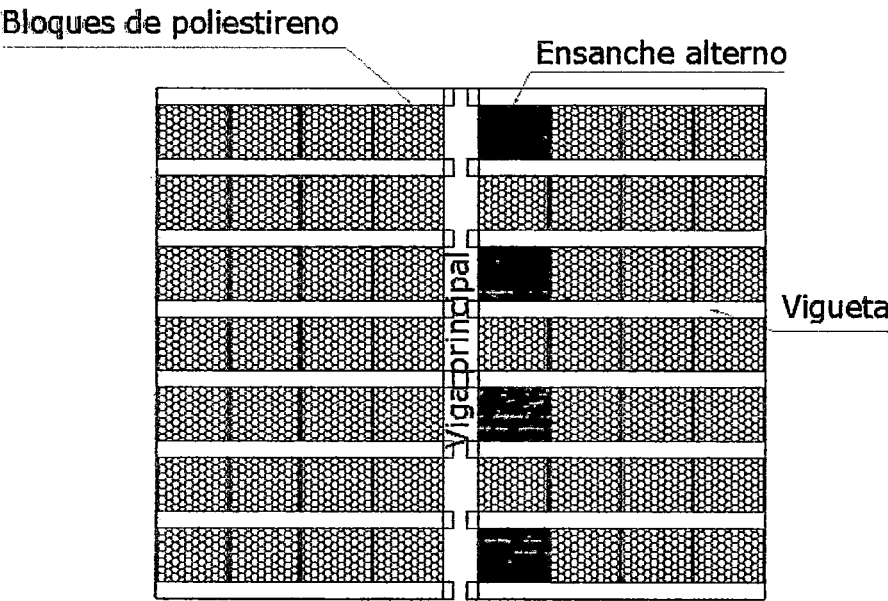


Figura 13.115. Detalle de ensanche alternado.

En el anexo E en los planos de aligerados se muestra el detalle del armado de las losas aligeradas.

3. Diseño de pedestal de apoyo.

Los aisladores estarán dispuestos sobre pedestales de apoyo de concreto armado de grandes dimensiones. Los cuales a su vez estarán conectados a las zapatas de cimentación apoyados sobre el terreno, ver figura 13.116 [11].

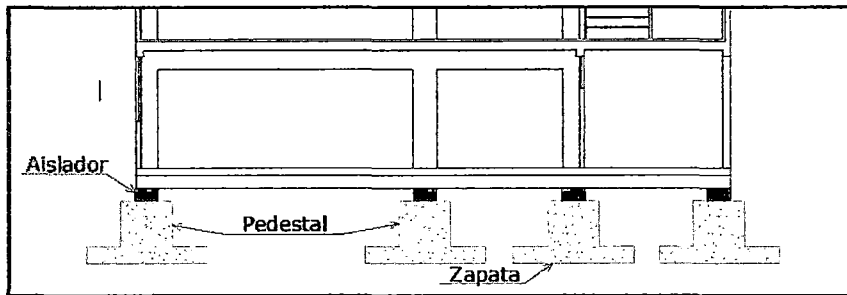


Figura 13.116. Elementos de la subestructura.

En la figura 13.117 se muestra las fuerzas actuantes en el sistema de aislamiento las cuales son transmitidas hacia los pedestales de apoyo y luego a la cimentación.

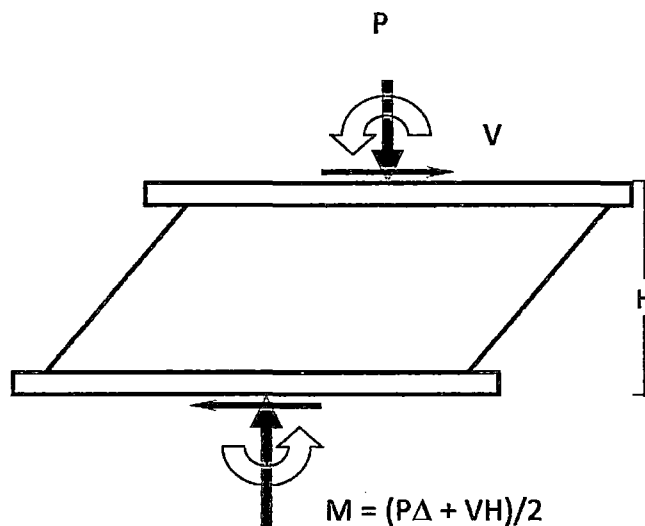


Figura 13.117. Fuerzas actuantes en el sistema de aislamiento.

Los datos para el diseño de los pedestales son los siguientes:

- Altura propuesta $h = 130,00 \text{ cm}$
- Ancho propuesto $a = 120,00 \text{ cm}$
- Profundidad propuesta $b = 120,00 \text{ cm}$

- Carga axial máxima $P_{max} = 264839,91 \text{ Kg} - f$
- Excentricidad máxima (Desplazamiento total máximo) $\Delta = DTM = 16,40 \text{ cm}$
- Altura del aislador $h_a = 35,30 \text{ cm}$
- Fuerza cortante máxima en la base $V_{bmax} = 16176,73 \text{ Kg} - f$

El procedimiento de diseño se muestra a continuación:

a) *Acero mínimo de pedestal.*

El acero mínimo es el 1 % del área total de la sección de la columnas.

$$A_{smin} = 0,01 * A_g = 0,01 * 120 * 120 = 144,00 \text{ cm}^2$$

b) *Momento máximo.*

$$M_{max} = \frac{P_{max} * \Delta + V_{bmax} * h_a}{2} = \frac{264839,91 * 16,40 + 16176,73 * 35,30}{2} = 2457206,54 \text{ kg-cm}$$

c) *Distribución del acero mínimo en sección de pedestal.*

Se distribuye $44\Phi 3/4" + 4\Phi 1"$, con los aceros de 1" en las cuatro esquinas de la columna, haciendo un total de $145,29 \text{ cm}^2$.

En la figura 13.118 se muestra la distribución del acero mínimo en la sección propuesta.

La presencia de aceros longitudinales en la zona interna de la columna es con el fin de proveer mayor rigidez en la región de área del aislador y fijar a ellos los pernos de anclaje del aislador.

d) *Calculo del diagrama de interacción de pedestal.*

En la figura 13.119 se muestra los valores en cada eje del diagrama y 13.120 se muestra el diagrama de interacción.

Se puede observar en la 13.120 que el punto de la ubicación de la carga axial ultima y el momento flector ultimo esta dentro del diagrama, cumpliendo la sección con el acero mínimo propuesto.

e) *Calculo del espaciamiento del estribado.*

El espaciamiento máximo es el menor de los siguientes valores:

$$S \leq 16 * d_b = 16 * 1,91 = 30,56 \text{ cm}$$

$$S \leq \text{menor dimension de la columna} = 120 \text{ cm}$$

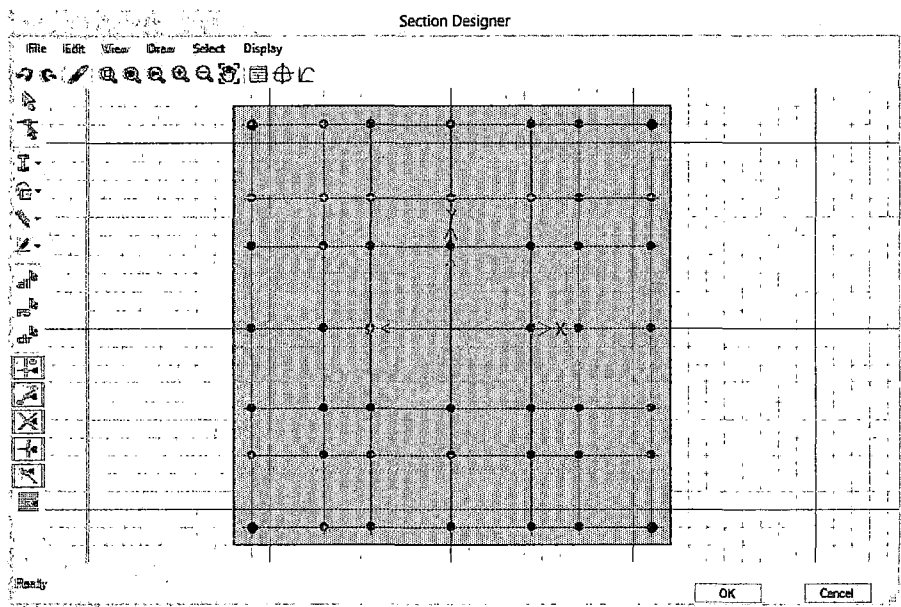


Figura 13.118. Acero mínimo distribuido en sección de pedestal.

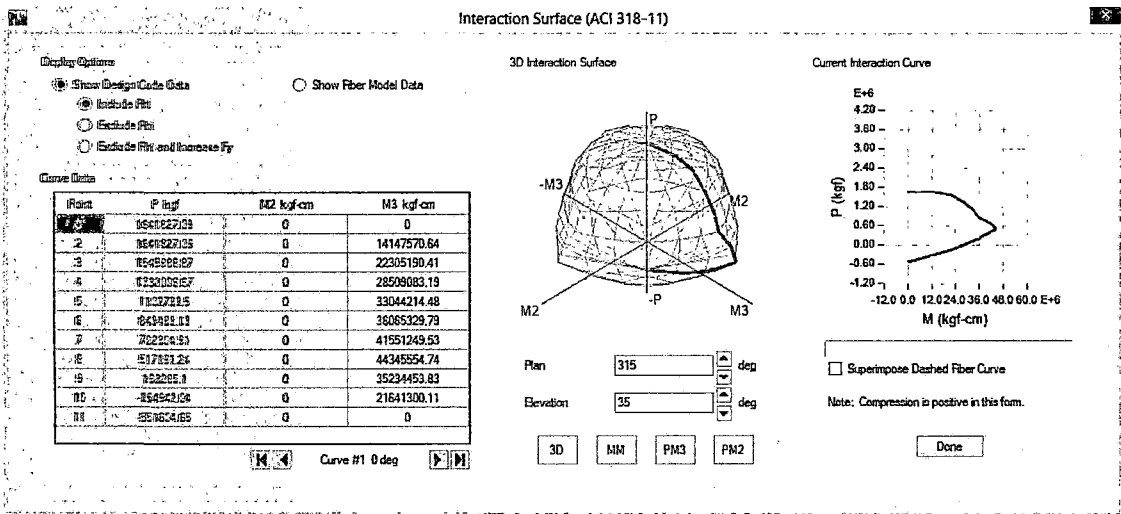


Figura 13.119. Extracción del diagrama de interacción de la ventana section designer.

$S \leq 0,30\ m$

Entonces se usara estribos laterales y transversales de 3/8" a cada $S = 20\ cm$ para evitar fisuras.

En el anexo E en los planos de cimentación se muestra los planos con los detalles de el armado de los pedestales de apoyo.

4. Diseño de la zapata de cimentación.

De acuerdo a la figura 13.121 se clasifica a las zapatas en dos tipos: Z1 y Z2.

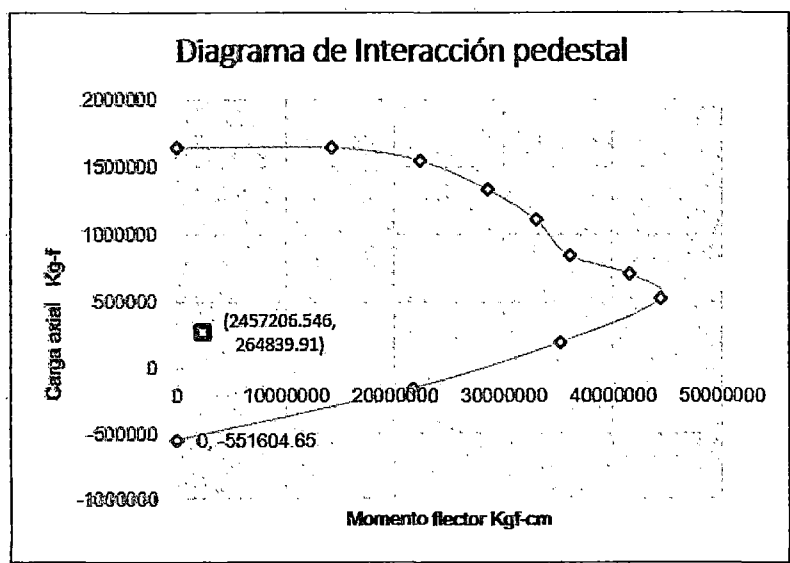


Figura 13.120. Diagrama de interacción de pedestal con acero mínimo.

En las zapatas tipo Z2 se presenta las mas bajas cargas, por ello se reducirán las dimensiones de dichas zapatas.

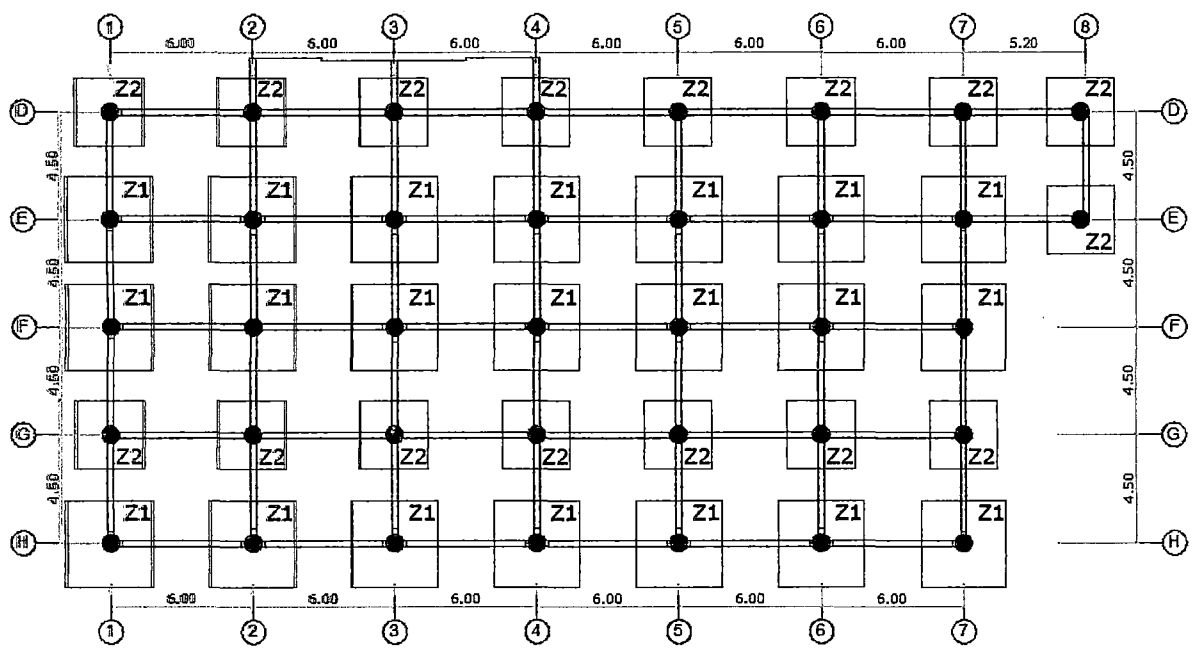


Figura 13.121. Clasificación de zapatas de cimentación.

a) Zapata de cimentación Z1.

La zapata de cimentación Z1 sera diseñada con los siguientes datos:

- Carga máxima de servicio $P_s = 225021,27 \text{ cm}$.

- Carga máxima última $P_u = 264839,91 \text{ cm}$.
- Momento máximo de servicio $M_s = \frac{P_s * \Delta + V_{bs} * h_a}{2} = \frac{225021,27 * 16,40 + 13744,56 * 35,30}{2} = 2087765,91 \text{ kg} - \text{cm}$
- Momento máximo último $M_u = \frac{P_u * \Delta + V_{bu} * h_a}{2} = \frac{264839,91 * 16,40 + 16176,73 * 35,30}{2} = 2457206,54 \text{ kg} - \text{cm}$
- Excentricidad máxima de columna $e = \frac{M_u}{P_u} = 9,27 \text{ cm}$.
- Carga máxima de servicio final $P_{sf} = P_s + W_{col} = 225021,27 + 1,20 * 1,20 * 1,30 * 2400 = 229514,07 \text{ cm}$.
- Carga máxima última final $P_{uf} = P_u + W_{col} = 264839,91 + 1,20 * 1,20 * 1,30 * 2400 = 269332,71 \text{ cm}$.
- Ancho de columna $a = 120 \text{ cm}$.
- Profundidad de columna $b = 120 \text{ cm}$.
- Diámetro de barra de acero de columna $d_b = 1,90 \text{ cm } 3/4''$.
- Resistencia del concreto en columna $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.
- Resistencia del concreto en zapata $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.
- Esfuerzo admisible del terreno $\delta_{adm} = 2 \text{ Kg/cm}^2$.
- Peso específico del concreto $P_{econc} = 2400 \text{ Kg/m}^3$.
- Peso específico del terreno $P_{terr} = 1700 \text{ Kg/m}^3$.
- Esfuerzo de fluencia del acero $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.

En las figuras 13.122 ,13.123 y 13.124 se muestra el procedimiento del diseño de la zapata tipo Z1.

Como se puede observar las zapatas tipo Z1 serán de 380 cm x 380 cm y se usaran $34\phi 5/8''$ en ambos sentidos como refuerzo longitudinal.

b) Zapata de cimentación Z2.

La zapata de cimentación Z2 sera diseñada con los siguientes datos:

- Carga máxima de servicio $P_s = 64280,83 \text{ cm}$
- Carga máxima última $P_u = 98034,05 \text{ cm}$
- Momento máximo de servicio $M_s = \frac{P_s * \Delta + V_{bs} * h_a}{2} = \frac{64280,83 * 16,40 + 13744,56 * 35,30}{2} = 769694,29 \text{ kg} - \text{cm}$
- Momento máximo último $M_u = \frac{P_u * \Delta + V_{bu} * h_a}{2} = \frac{98034,05 * 16,40 + 13744,56 * 35,30}{2} = 1046470,69 \text{ kg} - \text{cm}$

Diseño de Zapata Aislada									
Datos de Entrada									
Cargas		columna			Zapata			Propiedades	
$P_{servicio}$	229514.07 Kg	cl	120.00	cm	hp	0.00	cm	qs	2.00 Kg/cm2
P_u	269332.71 Kg	cs	120.00	cm	ht	10.00	cm	$Peconc$	2400.00 Kg/m3
$M_{servicio}$	2087765.91 Kg-cm	dbc	1.90	cm	$f'c_{zap}$	210.00	Kg/cm2	$Pesuelo$	1700.00 Kg/m3
M_u	2457206.54 Kg-cm	$f'c_{col}$	210.00	Kg/cm2	ϕ	0.9	adim	f_y	4200.00 Kg/cm2
s/c	0.00								

1. Determinación de la presión neta del suelo y dimensionamiento de la zapata

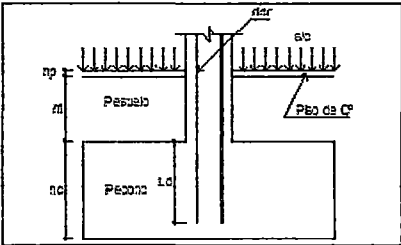
a.- Cálculo del peralte: El peralte debe permitir el desarrollo del refuerzo en compresión de la columna

$$Ld1 = \frac{0.08 * db * fy}{\sqrt{fc}}$$

$$Ld2 = 0.004 * db * fy$$

$$LdB = 20cm$$

Ld1	44.05	cm
Ld2	31.92	cm
Ld3	20.00	cm
Ld mayor	44.05	cm
hc calculado	54.05	cm
hc asumido	60.00	cm
d	50.00	cm
ldh	35.00	cm



hc a usar en los calculos

Peralte efectivo de zapata

Longitud de anclaje con gancho estandar

b.- Cálculo de la capacidad portante neta del terreno: qsn

$$q_{un} = q_t - P_{concreto} - P_{terreno} - P_{piso} - S/C$$

P_{propio}	0.144	kg/cm2
$P_{relleno}$	0.017	kg/cm2
s/c	0	kg/cm2
qsn	1.839	kg/cm2

c.- Dimensionamiento de la base de la Zapata : L,S

$$P = Pd + Pl$$

$$M = Md + Mi$$

$$Ase = \frac{P}{qsn}$$

$$Lse = \sqrt{Ase}$$

Iteration Incremento Lse

P_s	229514.07	kg
M_s	2087765.91	kg-cm
e	9.27	cm
Ase	124803.74	cm2
Lse	353	cm
desde Lse	353	cm
Nro veces	10	cm
cada	5	cm

Excentricidad

Area sin excentricidad

Dimension "L" sin excentricidad

no cambiar

Figura 13.122. Cálculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z1 parte 1.

- Excentricidad máxima de columna $e = \frac{M_u}{P_u} = 10,67cm$
- Carga máxima de servicio final $P_{sf} = P_s + W_{col} = 64280,83 + 1,20 * 1,20 * 1,30 * 2400 = 68773,63\ cm.$

$$S = \frac{P}{q_{sn} * L} \left(1 + \frac{6e}{L} \right)$$
$$q_{1,2} = \frac{P}{SL} \left(1 + \frac{6e}{L} \right)$$

Iteracion	L	S	Area	q2	q1	Cond q2	Cond q1	Cond fin
1	353.28	408.9	144452.931	1.839	1.3387	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
2	358.28	402.42	144178.712	1.839	1.3447	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
3	363.28	396.15	143912.042	1.839	1.3506	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
4	368.28	390.07	143652.613	1.839	1.3564	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
5	373.28	384.17	143400.133	1.839	1.362	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
6	378.28	378.44	143154.329	1.839	1.3675	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
7	383.28	372.88	142914.937	1.839	1.3729	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
8	388.28	367.48	142681.711	1.839	1.3781	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
9	393.28	362.23	142454.415	1.839	1.3833	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
10	398.28	357.12	142232.827	1.839	1.3883	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple

Dimensiones escogidas

L escogido	380	cm
S escogido	380	cm

Iteracion	L	S	Area	qsn2	qsn1	Cond q2	Cond q1	Cond fin
1	380	380	144400	1.82	1.36	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple

2. Reaccion amplificada del suelo:

$$q_{sn1} = \frac{P_u}{p} * q_{sn}$$
$$f_q = \frac{P_u}{P}$$

Pu	269332.71	kg
Ps	229514.07	kg
qsn	1.839	kg/cm2
qsn1	2.158	kg/cm2
fq	1.173	adim.

3. Verificacion por corte:

a.- Corte por flexion:

a.1.- Direccion paralela a "L"

Lsc	300.00	cm
Lf	80.00	cm
y	0.37	kg/cm2
y1	1.72	kg/cm2
Vu	63253.72	kg
ΦVc	124038.94	kg
Condicion	Vu < ΦVc	
	cumple	

a.2.- Direccion paralela a "S"

sf	80.00	kg
Vu	56701.62	kg
ΦVc	124038.94	kg
Condicion	Vu < ΦVc	
	cumple	

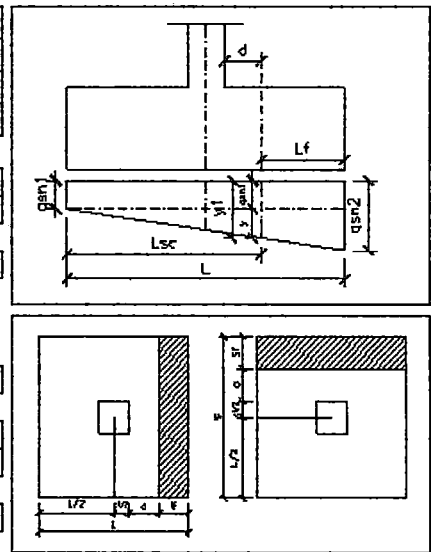


Figura 13.123. Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z1 parte 2.

- Carga máxima ultima final $P_{uf} = P_u + W_{col} = 98034,05 + 1,20 * 1,20 * 1,30 * 2400 = 102526,85 \text{ cm}$.
- Ancho de columna $a = 120 \text{ cm}$

b.- Corte por Punzonamiento:

$$V_{px} = 2 * f_c * \left(\frac{q_{s11} + q_{s12}}{2} \right) \left(L * a + (s - 2 * a) * b \right)$$

a	105.00	kg
b	105.00	kg

Vu	215428.86	kg
----	-----------	----

$$b_o = 2 * (2d + cl + cs)$$

$$\frac{B_c}{C_s}$$

Cs = 40 columna Interna
30 columna lateral
20 columna Esquinera

b _o	680.00	cm
B _c	1.00	adim
cs	40	adim

$$V_{p1} \leq 0.27 * \left(2 + \frac{4}{B_c} \right) * \sqrt{f_c} * b_o * d$$

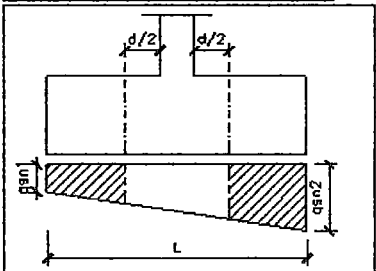
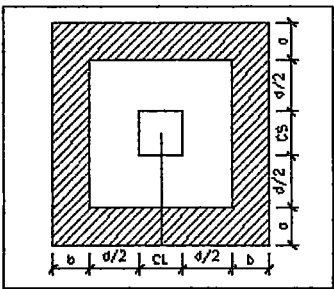
$$V_{p2} \leq 0.27 * \left(\frac{a_1 * d}{b_o} + 2 \right) * \sqrt{f_c} * b_o * d$$

$$V_{p3} \leq 1.1 * \sqrt{f_c} * b_o * d$$

V _{p1}	798185.03	kg
V _{p2}	657328.85	kg
V _{p3}	541977.49	kg

V _{cmín}	541977.49	kg
Condicion	Vu < V _{cmín}	

cumple



3. Refuerzo Longitudinal por flexion

a.- Calculo del momento ultimo y el Acero de refuerzo en la direccion L :

$$M_{ul} = f_q * L_f^2 * S * \left(\frac{y_1 + q_{s1} - y_1}{2} + \frac{q_{s1} - y_1}{3} \right)$$

L _{sc}	250.00	cm
L _f	130.00	cm
y	0.31	kg/cm ²
y ₁	1.66	kg/cm ²

$$\frac{M_{ul}}{S * d^2}$$

M _{ul}	6665795.31	kg-cm
-----------------	------------	-------

R _{ul}	7.02	kg/cm ²
-----------------	------	--------------------

Resolver la ecuacion:

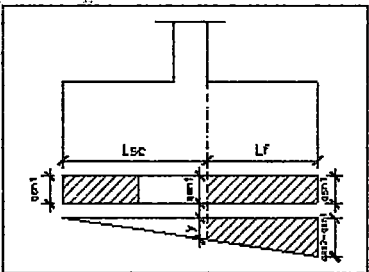
$$R_{ul} = \rho * f_c * \left(1 - 0.33 * \rho * \frac{f_c}{f_y} \right)$$

ρ _{l1}	0.083	adim
ρ _{l2}	0.002	adim
ρ _{l elegida}	0.002	adim

$$A_s = \rho_l * S * d$$

$$A_{sminL} = 0.0018 * S * h$$

A _{sL}	36.077	cm ²
A _{sminL}	41.040	cm ²



Se usara: 22φ5/8"

b.- Calculo del momento ultimo y el Acero de refuerzo en la direccion S :

$$M_{us} = f_q * \frac{S^2}{2} * L * \left(\frac{q_{s1} + q_{s2}}{2} \right)$$

S _{sc}	250.00	cm
S _f	130.00	cm

M _{us}	11978217.9	kg-cm
-----------------	------------	-------

R _{us}	12.61	kg/cm ²
-----------------	-------	--------------------

$$\frac{M_{us}}{L * d^2}$$

Resolver la ecuacion:

$$R_{us} = \rho * f_c * \left(1 - 0.33 * \rho * \frac{f_c}{f_y} \right)$$

ρ _{l1}	0.081	adim
ρ _{l2}	0.003	adim
ρ _{l elegida}	0.003	adim

$$A_s = \rho_l * L * d$$

$$A_{sminS} = 0.0018 * L * h$$

A _{sS}	66.089	cm ²
A _{sminS}	41.040	cm ²

Se usara: 34φ5/8"

Figura 13.124. Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z1 parte 3.

- Profundidad de columna $b = 120 \text{ cm}$
- Diámetro de barra de acero de columna $d_b = 1,90 \text{ cm } 3/4''$
- Resistencia del concreto en columna $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- Resistencia del concreto en zapata $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- Esfuerzo admisible del terreno $\delta_{adm} = 2 \text{ Kg/cm}^2$
- Peso específico del concreto $P_{conc} = 2400 \text{ Kg/m}^3$
- Peso específico del terreno $P_{terr} = 1700 \text{ Kg/m}^3$
- Esfuerzo de fluencia del acero $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

En las figuras 13.125 ,13.126 y 13.127 se muestra el procedimiento del diseño de la zapata tipo Z2.

Como se puede observar las zapatas tipo Z2 serán de 285 cm x 285 cm y se usaran $16\phi 5/8''$ en ambos sentidos como refuerzo longitudinal.

Diseño de Zapata Aislada						
Datos de Entrada						
Cargas		columna		Zapata		Propiedades
Pservicio	62773.63 Kg	cl	120.00 cm	hp	0.00 cm	qs 2.00 Kg/cm2
Pa	102526.85 Kg	cs	120.00 cm	ht	10.00 cm	Peconc 2400.00 Kg/m3
Mservicio	769694.29 Kg-cm	dbc	1.90 cm	f'c zap	210.00 Kg/cm2	Pesuelo 1700.00 Kg/m3
Mu	1046470.69 Kg-cm	f'c col	210.00 Kg/cm2	φ	0.9 adim	fy 4200.00 Kg/cm2
s/c	0.00					

1. Determinación de la presión neta del suelo y dimensionamiento de la zapata

a.- Cálculo del peralte: El peralte debe permitir el desarrollo del refuerzo en compresión de la columna

$$Ld1 = \frac{0.08 \cdot db \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$$

$$Ld2 = 0.004 \cdot db \cdot f_y$$

$$Ldb = 20cm$$

Ld1	44.05	cm
-----	-------	----

Ld2	31.92	cm
-----	-------	----

Ld3	20.00	cm
-----	-------	----

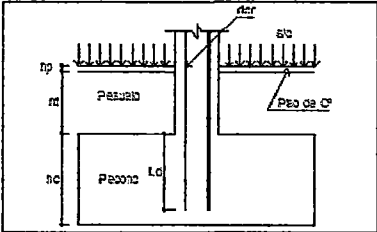
Ld mayor	44.05	cm
----------	-------	----

hc calculado	54.05	cm
--------------	-------	----

hc asumido	60.00	cm
------------	-------	----

d	50.00	cm
---	-------	----

Ldb	35.00	cm
-----	-------	----



hc a usar en los calculos

Peralte efectivo de zapata

Longitud de anclaje con gancho estandar

b.- Cálculo de la capacidad portante neta del terreno: qsn

$$q_{sn} = q_s - P_{concreto} - P_{terreno} - P_{piso} - S/C$$

Pservicio	0.144	kg/cm2
Prelleno	0.017	kg/cm2
s/c	0	kg/cm2

qsn	1.839	kg/cm2
-----	-------	--------

c.- Dimensionamiento de la base de la Zapata : L,S

$$P = Pd + Pl$$

$$M = Md + Mi$$

$$Ase = \frac{P}{q_{sn}}$$

$$Lse = \sqrt{Ase}$$

Iteracion Incremento Lse

P	68773.63	kg
M	769694.29	kg-cm

e	10.67	cm
Ase	37397.30	cm2
Lse	193	cm

Excentricidad

Area sin excentricidad

Dimension "L" sin excentricidad

desde Lse	193	cm
lminimas	10	cm
lado	5	cm

no cambiar

Figura 13.125. Cálculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z2 parte 1.

$$S = \frac{P}{q_{sn} * L} \left(1 + \frac{6e}{L} \right)$$
$$q_{l2} = \frac{P}{SL} \left(1 + \frac{6e}{L} \right)$$

Iteracion	L	S	Area	q2	q1	Cond q2	Cond q1	Cond fin
1	193.38	257.4	49777.7289	1.839	0.9242	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
2	198.38	249.34	49465.6966	1.839	0.9417	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
3	203.38	241.75	49169.0063	1.839	0.9584	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
4	208.38	234.6	48886.5537	1.839	0.9746	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
5	213.38	227.84	48617.338	1.839	0.9902	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
6	218.38	221.45	48360.4499	1.839	1.0052	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
7	223.38	215.39	48115.0616	1.839	1.0197	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
8	228.38	209.65	47880.4179	1.839	1.0337	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
9	233.38	204.2	47655.8282	1.839	1.0473	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple
10	238.38	199.01	47440.6599	1.839	1.0604	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple

Dimensiones escogidas

L escogido	285	cm
S escogido	285	cm

Iteracion	L	S	Area	qsn2	qsn1	Cond q2	Cond q1	Cond fin
1	285	285	81225	1.04	0.66	q2<=qsn	q1<=qsn	cumple

2. Reaccion amplificada del suelo:

$$q_{snu} = \frac{Pu}{p} * q_{sn}$$

$$f_q = \frac{Pu}{P}$$

Pu	102526.85	kg
P	68773.63	kg
qsn	1.839	kg/cm2

qsnu	2.742	kg/cm2
f_q	1.491	adim

3. Verificacion por corte:

a.- Corte por flexion:

a.1.- Direccion paralela a "L"

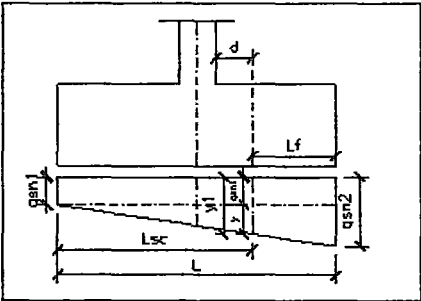
$$V_u = f_q * \left(\frac{y1 + q_{sn2}}{2} \right) * l_f * S$$

$$\phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{f_c} * S * d$$

Lsc	252.50	cm
Lf	32.50	cm
y	0.34	kg/cm2
y1	0.99	kg/cm2

Vu	14018.48	kg
ΦVc	93029.20	kg

Condicion	Vu < ΦVc
	cumple



a.2.- Direccion paralela a "S"

$$V_u = f_q * \left(\frac{y1 + q_{sn2}}{2} \right) * l_f * S$$

$$\phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{f_c} * S * d$$

Sf	32.50	kg
----	-------	----

Vu	11691.66	kg
ΦVc	93029.20	kg

Condicion	Vu < ΦVc
	cumple

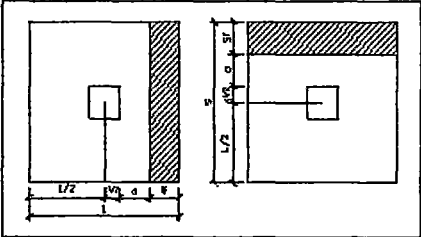
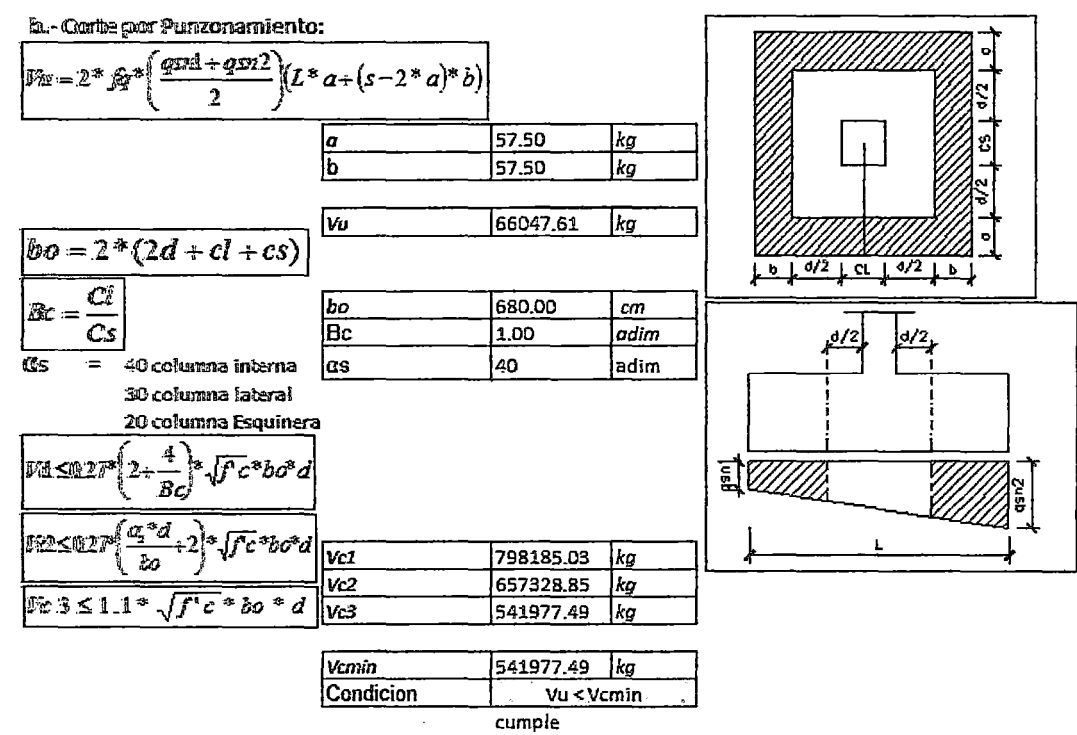
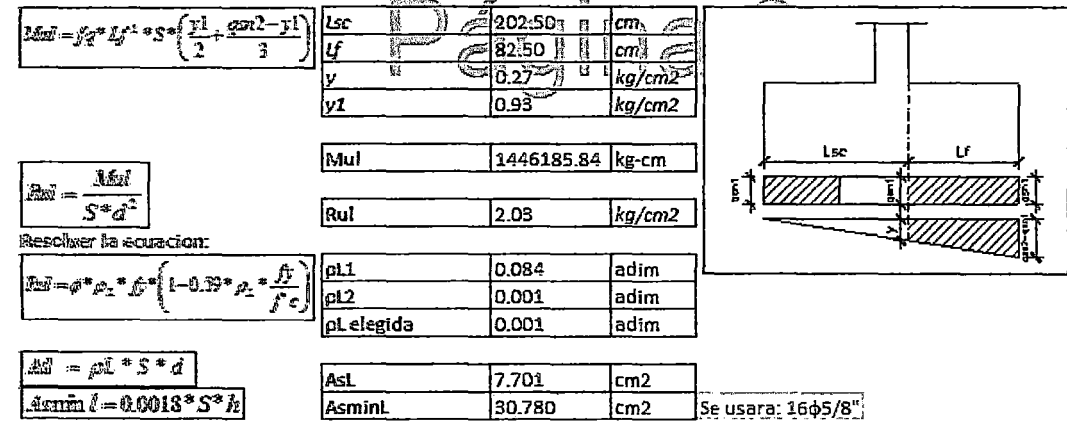


Figura 13.126. Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z2 parte 2.



3. Refuerzo Longitudinal por flexion

a.- Calculo del momento ultimo y el Acero de refuerzo en la direccion L :



b.- Calculo del momento ultimo y el Acero de refuerzo en la direccion S :

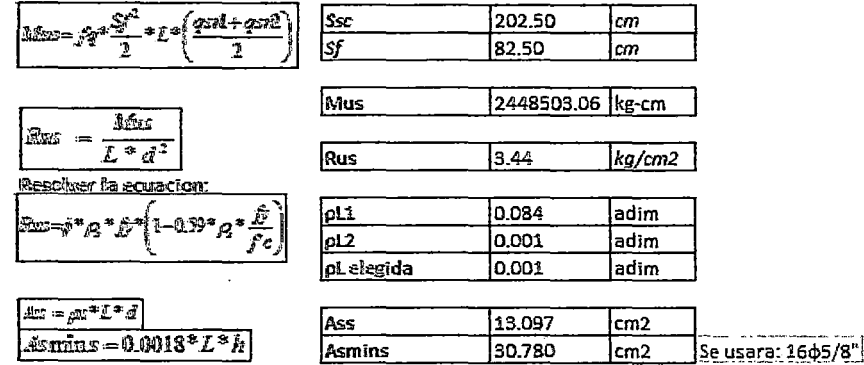


Figura 13.127. Calculo de refuerzo de acero para zapata tipo Z2 parte 3.

Capítulo 14

Análisis y Comparación de Costos

Para hacer una análisis completo de la comparación de presupuestos entre la estructura Aislada y Convencional es necesario considerar los costos DIRECTOS e INDIRECTOS. Ambos relacionados a la construcción y el estado de la edificación posterior a un evento sísmico importante. En la figura 14.1 se muestra el desagregado de los items de comparación a nivel de precios [1].

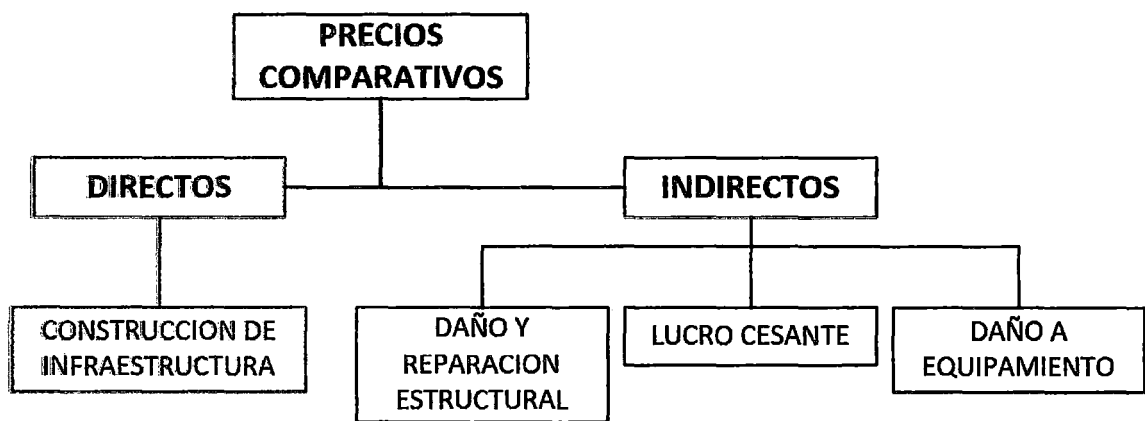


Figura 14.1. Componentes para la comparación de precios entre la estructura aislada y convencional

1. COSTOS DIRECTOS

Los costos directos comprenden a aquellos directamente relacionados con la construcción propiamente del edificio. Para el caso del sistema aislado incluye la superestructura, la subestructura y el sistema de aislamiento.

En la figuras 14.2 y 14.3 se muestran los presupuestos a nivel de estructuras de la edificación tanto convencional como aislada.

En el Anexo D se muestran los metrados del presupuesto para cada caso de análisis.

Como se puede observar en dichos presupuestos el costo de la estructura de la edificación convencional asciende a 935,104.23 soles y el de la estructura aislada a 2,372,929.50 soles. Representando la estructura aislada 2.53 veces el costo de la estructura convencional.

En la tabla 14.1 se muestra la comparación de precios a nivel del concreto y el acero.

Tabla 14.1. Periodos de la estructura aislada en segundos.

Comparación de costos en concreto y acero en soles.		
Estructura	Aislada	Convencional
Acero	661083.45	439961.82
Concreto	355303.35	185071.12
Total	1016386.8	625032.94

Se observa que en ambos casos el costo del acero y concreto de la estructura aislada es mayor a la estructura convencional. Si se observa en el presupuesto el costo del acero en vigas y columnas para la estructura aislada es menor a la convencional; pero la presencia de los muros de concreto y los pedestales de apoyo incrementan el costo de la edificación aislada. Estando por esta encima de la estructura convencional en estos dos rubros.

Los aisladores cuestan en total la suma de:782610.01 soles la cual representa el 32.9% del costo de la estructura.

Proyectando el costos total incluyendo las áreas de Arquitectura, Instalaciones Eléctricas e Instalaciones Sanitarias llega a un 15.0 % del costo de la edificación.

En conclusión se muestra que los costos adicionales por la implementación de los aisladores sísmicos eleva el precio de la edificación, a nivel de infraestructura

construida.

2. COSTOS INDIRECTOS

Aparte de los costos directos los cuales cuantifican los aspectos físicos de la estructura en cuestión. También es necesario tener en cuenta otros variados parámetros, muchos de ellos difíciles de evaluar debido a sus características poco tangibles.

La intención de incluir este análisis es ver objetivamente los costos totales del edificio convencional y aislado, bajo un marco global.

Entre los mas importantes se encuentran: Los costos de reparación de los daños estructurales y no estructurales ,los costos de los daños al equipamiento de la edificación y como ultimo ítem el lucro cesante, debido a la paralización de las funciones en los ambientes de la edificación.

Aparte de estos items se puede resaltar también el daño psicológico y físico de las personas ocupantes en el momento del evento sísmico.

Estos parámetros aumentan el costo de la estructura convencional. Sin embargo se proyecta que la edificación aislada también presente un costo indirecto debido a algunos retoques en algunas zonas de la edificación equivalente al 1 % del costo de la estructura

- **Costos de reparación de daños estructurales y no estructurales.**

Los costos de la reparación de daños estructurales y no estructurales se encuentran en el rango de 30 al 50 % del costo de la estructura se tomara el 40 %.

- **Costos de los daños al equipamiento de la edificación.**

Los costos de los equipos utilizados en el laboratorio de agronomía son elevados, llegando en algunas ocasiones a igualar e inclusive sobrepasar el costo de la estructura. Se considera con respecto al costo de la estructura el 120 %.

- **Lucro cesante.**

Estos laboratorios son utilizados por la población estudiantil de la UNSCH. Por ende no se tendría ningún lucro por ello. Sin embargo si se evalúa las

perdidas de las facilidades para el aprendizaje de los estudiantes y se proyecta esto con la inversión del estado para la educación de los estudiantes se podría considerar un 10 % del costo de la estructura.

En la tabla 14.2 se muestran los porcentajes y costos de comparación entre la estructura aislada versus la estructura convencional

Tabla 14.2. Comparación de costos entre la estructura aislada y convencional.

Costos entre la estructura aislada y convencional en soles.		
Estructura	Convencional	Aislada
DIRECTO		
Estructura	935104.23	2372929.50
INDIRECTO		(1 %) 23729.295
Daños	(40 %) 374041.692	
Equipamiento	(120 %) 1122125.07	
Lucro cesante	(10 %) 93510.423	0
TOTAL	2524781.421	2396658.795

Se puede entonces observar que el costo de la estructura aislada es mayor a la estructura convencional. Pero si se consideran los costos indirectos estos elevan el valor de la estructura convencional por encima de la aislada. Esto quiere decir que la estructura aislada llega a ser mas económica que la estructura convencional en el tiempo.

S10
UNSCH

Página 1

Presupuesto

Presupuesto 0301003 TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA
Subpresupuesto 005 ESTRUCTURA CONVENCIONAL
Cliente UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA Costo al 05/04/2015
Lugar AYACUCHO - HUAMANGA - AYACUCHO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	ESTRUCTURA CONVENCIONAL				935,104.23
01.01	TRABAJOS PRELIMINARES				1,459.14
01.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	879.00	0.46	404.34
01.01.02	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO	m2	879.00	1.20	1,054.80
01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				27,023.12
01.02.01	CORTE SUPERFICIAL MANUAL HASTA 0.20 MT	m3	137.60	9.33	1,283.81
01.02.02	EXCAVACION PARA ZAPATAS Y ZANJAS	m3	289.94	14.93	4,328.80
01.02.03	RELLENO Y COMP. MANUAL- MAT. DE PRESTAMO	m3	24.65	37.90	934.24
01.02.04	ELIMINACION DE EXCESO DE CORTE CON VOLQUETE, CARGUIO A MANO	m3	318.35	64.32	20,476.27
01.03	CONCRETO SIMPLE				28,623.53
01.03.01	CIMENTOS CORRIDOS MEZCLA 1:10 CEMENTO-HORMIGON 30% PIEDRA	m3	63.62	148.77	9,464.75
01.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOF. DE SOBRECIMIENTO	m2	357.84	27.86	9,969.42
01.03.03	CONCRETO EN SOBRECIMIENTO 1:8(C:H)+25% PM	m3	37.57	181.44	6,816.70
01.03.04	SOLADO DE CONCRETO 1:12 (s=10 cm.)	m2	128.46	18.47	2,372.66
01.04	CONCRETO ARMADO				877,998.44
01.04.01	CONCRETO FC=210 KG/CM2 EN ZAPATAS	m3	77.07	302.45	23,309.82
01.04.02	ACERO GRADO 60 EN ZAPATAS	kg	1,349.07	6.02	8,121.40
01.04.03	CONCRETO FC=210 KG/CM2. PARA COLUMNAS	m3	135.63	335.36	45,484.88
01.04.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA EN COLUMNAS	m2	1,066.52	72.39	77,205.38
01.04.05	ACERO GRADO 60 EN COLUMNAS	kg	41,690.69	6.02	250,977.65
01.04.06	CONCRETO EN VIGAS FC=210 KG/CM2	m3	142.55	313.86	44,740.74
01.04.07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA EN VIGAS	m2	1,234.77	71.78	88,631.79
01.04.08	ACERO GRADO 60 EN VIGAS	kg	25,357.02	6.02	152,649.26
01.04.09	CONCRETO EN LOSAS ALIGERADAS FC=210 KG/CM2	m3	236.38	302.63	71,535.68
01.04.10	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL EN LOSAS ALIGERADAS	m2	236.38	30.18	7,133.95
01.04.11	ACERO GRADO 60 EN LOSAS ALIGERADAS	kg	4,686.58	6.02	28,213.21
01.04.12	VIGUETA V-103 PRETENSADA	m	4,439.20	18.02	79,994.38
	COSTO DIRECTO				935,104.23
	SON : NOVECIENTOS TRENTICINCO MIL CIENTO CUATRO Y 23/100 NUEVOS SOLES				

Figura 14.2. Presupuesto a nivel de estructuras de la edificación convencional

				Página		1	
							</

Figura 14.3. Presupuesto a nivel de estructuras de la edificación aislada

Parte V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo 15

Conclusiones

1. Los sistemas de protección sísmica consta de una amplia gama de sistemas cuya principal función es la disipación de la energía de ingreso hacia la estructura producto de un evento sísmico. Los aisladores sísmicos se encuentran en el grupo de los sistemas pasivos.
2. Existen a nivel internacional diferentes reglamentaciones para el diseño de los sistemas de aislamiento entre ellos se encuentran: ASCE/SEI 7-10, UBC-1997 y en Chile el NCH 2745. Actualmente se ha implementando como un anexo las regulaciones para el uso de aisladores sísmicos en el reglamento peruano.
3. Los aisladores sísmicos son útiles para edificaciones de pequeña a mediana altura por tener periodos bajos. Sin embargo para edificaciones altas las cuales tiene periodos altos no es factible su uso. Llegando los aisladores a posibles esfuerzos de tensión, lo cual no esta permitido. En nuestro caso se tiene una edificación de 4 pisos cumpliendo con este requisito.
4. Un sistema aislado consta de tres componentes: la subestructura, la superestructura y la interfaz aislamiento
5. El tipo de suelo es un factor importante, pues si la estructura se encuentra en un suelo flexible es posible la amplificación de las fuerzas cortantes provocando mayores esfuerzos en la estructura aislada. Sin embargo para suelos rígidos o semirígidos la estructura aislada se comporta de acuerdo a lo proyectado.

6. Los reglamentos que regulan el uso de los aisladores cuentan con diferentes niveles sísmicos. El ASCE/SEI 7-10 cuenta con dos niveles: el Sismo de Diseño (SDI) y el Sismo Máximo Considerado (MCE). Con 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años y de 2 % en 100 años respectivamente. Ambos niveles están relacionados por un factor de 1.50. Comparando el ASCE/SEI 7-10 con los reglamentos UBC-1997 y NCH2745, este tiene el mayor grado de sismo máximo.
7. Los aisladores son representados en su comportamiento por el modelo bilineal. El cual es un modelo histerético usado para representar la relación que existe entre la fuerza y el desplazamiento en un evento sísmico de carga y descarga. La modelación bilineal del aislador depende de tres factores: la Rigidez Elástica, la Rigidez Postfluencia y la Fuerza característica.
8. El diseño del aislamiento basal consta netamente del diseño del dispositivo de aislamiento. Para la cual se requieren inicialmente de los datos generales de la estructura: la carga máxima y mínima P_{max} y P_{min} , el peso total de la edificación W , un periodo objetivo T_D y el numero de aisladores N . En el proceso de diseño se dimensionan los diámetros y espesores de los elementos que forman el aislador: goma y acero. Para luego verificar el dispositivo por: rigidez vertical y frecuencia vertical, periodo objetivo, deformación angular máxima, pandeo y volcamiento. EL aislador LRB adiciona el diseño del núcleo de plomo en dicho proceso.
9. Para el diseño de los aisladores se tiene 4 tipos de desplazamientos: Desplazamiento de diseño D_D , desplazamiento máximo D_M , desplazamiento total de diseño D_{TD} y el desplazamiento total máximo D_{TM} . Siendo el D_{TD} y D_{TM} los desplazamientos que consideran los efectos de torsión en la estructura. Por lo general para los diseño mas conservadores se usa el D_{TM} y para los menos conservadores el D_D .
10. Para un periodo objetivo de 2 segundos y evaluando los desplazamiento en el mas conservador D_{TM} , para los cuatro casos de disposición de los aisladores se tuvieron los siguientes resultados: Solo HDR el $D_{TM} = 18,45cm$ con un 10 % de amortiguamiento, Solo LRB el $D_{TM} = 14,748cm$ con un 19.8 % de amortiguamiento, HDR1 + HDR2 el $D_{TM} = 17,06cm$ con un 13.24 % de

amortiguamiento, HDR + LRB el $D_{TM} = 16,40cm$ con un 15.00 % de amortiguamiento. Es claro la influencia del amortiguamiento en el desplazamiento para el diseño.

11. Para el análisis estático se calculan dos valores de cortante: V_b y V_s , la primera rige a nivel de la subestructura y el sistema de aislamiento y la segunda a nivel de la superestructura. Los factores de reducción R son diferentes para cada tipo de cortante. Siendo $R = 1$ para V_b debido a la importancia de la subestructura y el sistema de aislamiento en la estabilidad del sistema. También $R = \frac{2}{3}R_e$ con $R \leq 2$ para V_s para asegurar el comportamiento elástico de la superestructura.
12. Para la elaboración del espectro de diseño en el análisis modal espectral se usan los factores $U = 1, R = 1$ y los demás factores son los mismos usados en el RNE E-030.
13. Del análisis modal espectral se tienen los siguientes desplazamientos de la interfaz de aislamiento para los cuatro casos de disposición de los aisladores: Solo HDR el $D_{Dx} = 9,07cm$ y $D_{Dy} = 8,94cm$, Solo LRB el $D_{Dx} = 7,55cm$ y $D_{Dy} = 7,41cm$, HDR1 + HDR2 el $D_{Dx} = 8,47cm$ y $D_{Dy} = 8,33cm$, HDR + LRB el $D_{Dx} = 8,75cm$, $D_{Dy} = 8,70cm$ Es claro la influencia del amortiguamiento pues el caso LRB tiene el menor desplazamiento y el HDR el máximo.
14. Para el análisis tiempo historia es necesario la NORMALIZACION de los registros sísmicos a utilizar hacia el valor del sismo máximo de la zona de estudio. Para nuestro caso $Z = 0,3$, luego los registros son procesados para obtener sus respectivos espectros de diseño y si es necesario hacer el ESCALAMIENTO de dichos registros sísmicos.
15. Del análisis tiempo historia se tienen los siguientes desplazamientos de la interfaz de aislamiento para los cuatro casos de disposición de los aisladores: Solo HDR el $D_{Dx} = 11,13cm$ y $D_{Dy} = 10,21cm$, Solo LRB el $D_{Dx} = 8,44cm$ y $D_{Dy} = 8,15cm$, HDR1 + HDR2 el $D_{Dx} = 10,15cm$ y $D_{Dy} = 9,63cm$, HDR + LRB el $D_{Dx} = 9,30cm$, $D_{Dy} = 9,01cm$ Es claro la influencia del amortiguamiento pues el caso LRB tiene el menor desplazamiento y el HDR el máximo.
16. los porcentajes de reducción de desplazamientos en la superestructura para el análisis modal espectral están en el rango de 80 % a 95 % y para el análisis

tiempo historia están entre 75 % a 85 % siendo en ambos casos beneficioso pues las fuerzas cortantes y derivas son reducidas considerablemente.

17. Si se requiere para una estructura un amortiguamiento elevado se pueden usar todos los aisladores del tipo LRB, sin embargo los costos serian elevados. Pero si se requiere un equilibrio entre costos y funcionamiento se podría usar una combinación de dos HDR o un HDR + LRB. Y si se quiere ser menos conservador solo HDR.
18. La reducción de los esfuerzos en los elementos estructurales esta en el rango del 75 % al 95 %. Esto conlleva a poder tener elementos estructurales de menor dimensión y menor refuerzo de acero. Sin embargo algunos autores son conservadores y mantiene las secciones y refuerzos de acero resultados del análisis de la estructura empotrada al piso. En nuestro caso se redujo exclusivamente en el refuerzo de acero.
19. Para el diseño de la cimentación las fuerzas que actúan en el pedestal de apoyo son un momento flector y una fuerza axial, las cuales serán transmitidas hacia las zapatas.
20. El uso de aisladores sísmicos en edificaciones resulta mas económico y beneficioso si se estima los costos de reparación estructural , perdidas por equipamiento, lucro cesante y no menos importante los costos de las vidas humanas y afectados por el evento sísmico. Por ello la iniciativa del reglamento peruano de edificaciones de instaurar su uso en establecimientos de salud.

Capítulo 16

Recomendaciones

1. Tomar en consideración para el uso de los aisladores sísmicos las variables:
Altura de la edificación, tipo de suelo y las condiciones medio ambientales.
2. Incentivar al reglamento peruano de edificaciones la elaboración de un reglamento propio para la regulación de estos dispositivos.
3. Incentivar a las universidades y centros de estudio las técnicas y conocimientos a cerca de estos sistemas de protección sísmica que hoy en día se encuentra en boga en otros países sísmicos en el mundo.
4. Incentivar el desarrollo de estos dispositivos en nuestro país tal cual hoy en día lo están haciendo nuestros países vecinos Chile y Ecuador.

Parte VI

BIBLIOGRAFIA

1. Jaime Andrés Arriagada Rosas, *Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)*, Universidad Austral de Chile, 2005.
2. Dynamic Isolation Systems, *Aislamiento Sísmico Para edificaciones y puentes La mejor tecnología de protección antisísmica del mundo*.
3. Mario Ordaz, Francisco Castellanos y Arabella Zapata, *Manual de uso del programa DEGTRA A4*, Instituto de Ingeniería UNAM, 2005.
4. Paul Alexander Korswagen Eguren, Julio César Arias Ricse, Pamela Grace Huaranga Huamaní *Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú*, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú. 2012.
5. Hernán Martín Hernández Morales, *Análisis estructural de un edificio aislado sísmicamente y diseño de su sistema de aislamiento*, Facultad de Ingeniería Civil Universidad Nacional de Ingeniería.
6. Ing. Marcelo Romo, Ing Roberto Aguiar Falconi, Veronica Bravo, *Alternativas de modelamiento de estructuras con aisladores sísmicos mediante Sap 2000*, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército.
7. Instituto Nacional de Normalización, *Norma Chilena Nch 2745-2003 Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica - requisitos*, 2003.
8. Luna Casazola José Santos, *Aislantes Sísmicos Aplicados a una Edificación de Ocho Niveles*, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
9. Jorge Olmedo Montoya Vallecilla, *Análisis sísmico de un edificio con aislamiento en la base*, Trabajo fin de máster, Universidad Politécnica de Madrid , Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Máster en Estructuras, cimentaciones y Materiales, 2010.
10. Víctor A. Gatica Lagos, *Respuesta Sísmica de un edificio de estructura metálica con aisladores alternativos de diseño*, Trabajo fin de máster,

Universidad Politécnica de Madrid , Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Máster en Estructuras, cimentaciones y Materiales, 2012.

11. Patricio Bonelli y Ruben Boroschek K. *Rehabilitación del hospital Dr. Juan Noe Crevani mediante Aislación Basal.*
12. Luisa Joselinne Morales Díaz, Juan José Contreras Bálaro *Protección de una Edificación Existente con Disipadores de Energía*, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012.
13. Sirvc, *Protección Sísmica de Estructuras Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía.*
14. UBC, *Uniform Building Code*, Capitulo 16.
15. Charles A. Kircher, P.E., Ph.D. *Seismically Isolated Structures.*
16. Castillo Sagbay, Juan Gregorio Pazmiño Terán, María Belén *Análisis Sísmico de una Estructura Regular e Irregular con Aisladores en Pisos Intermedios, Diseño de Aisladores de Acuerdo al ASCE 7-10 y Torsión en una Estructura de un Piso*, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Carrera de Ingeniería Civil, Sangolqui 2014.
17. Dr. Gennec Villarreal Castro, *Edificaciones con Disipadores de Energía (Libro Premio Nacional ANR 2008)*, Lima Perú 2009.
18. Roberto Aguiar Falconí, José Luis Almazán, Peter Dechent, Vinicio Suárez, *Aisladores de Base Elastoméricos y FPS*, Quito Ecuador, Noviembre 2008.
19. Ivan Richard Goytia Torrez, Rolando Villanueva Inca, *Texto Guía de Ingeniería Antisísmica*, Bolivia 2001.
20. Róger Ivan Meza Blandón, Edgard Ezequiel Sanchez García, *Guía de Diseño Sísmico de Aisladores Elastómeros y de Fricción para la República de Nicaragua*, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios, Facultad de Tecnología de la Construcción, Nicaragua 2010.

21. ASCE/SEI 7-1, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, Capitulo 17: Seismic Design Requirements for Seismically Isolated Structures.
22. PROYECTO INDECI PNUD PER / 02/ 051 CIUDADES SOSTENIBLES
,MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE AYACUCHO
23. Mario Paz, *Dinámica Estructural Teoría y Calculo*, Editorial Reverte S.A.
24. Sencico, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, *Reglamento Nacional de Edificaciones*, Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda.

Parte VII

ANEXO

Anexo A

1. Reglamento ASCE/SEI 7-10

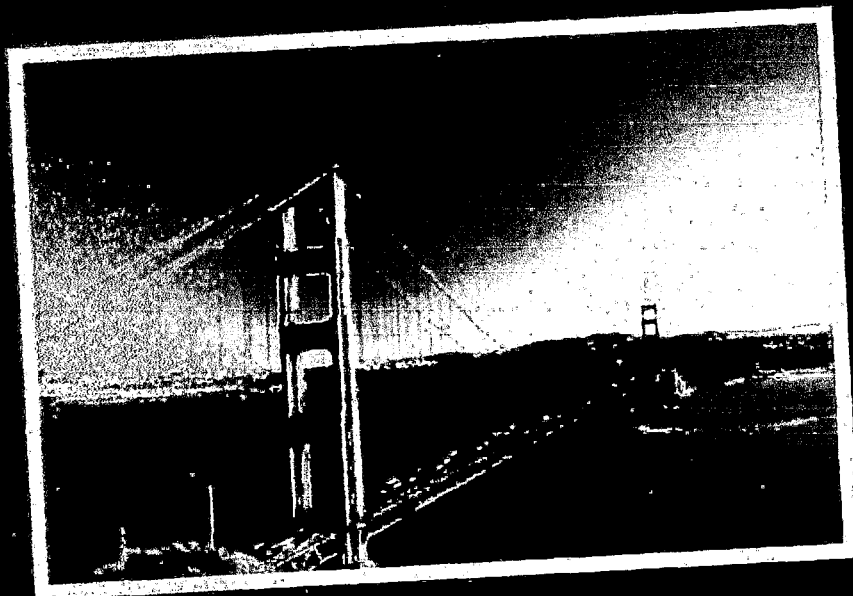
Ubicación en la Web: <http://residentialengineeringgroup.com/teg.pdf>

2. Reglamento NCH 2745

Ubicación en la Web: [https://www.dropbox.com/s/g8v9cilzc7arm ... a.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/g8v9cilzc7arm...a.pdf?dl=0)

Anexo B

1. Catalogo de Aisladores Sísmicos DIS



Aislamiento Sísmico

Para edificaciones y Puentes

La mejor tecnología de protección
antisísmica en el mundo



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Contenido

SECCIÓN 1: Aislamiento Sísmico

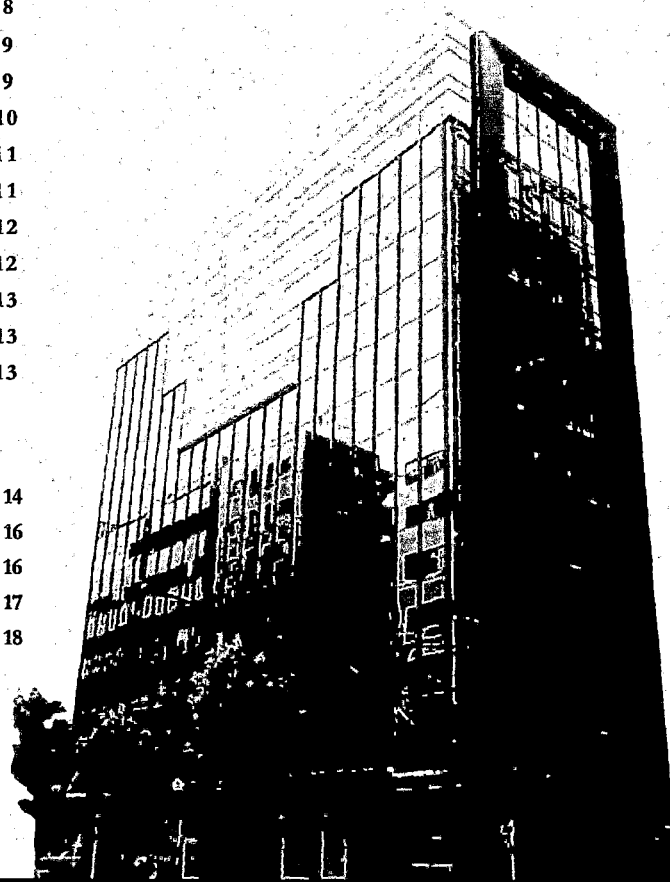
Aislamiento sísmico	2
Dynamic Isolation Systems	4
Aislador sísmico	5
Aislador deslizante	6
Productos adicionales	6
Aislamiento de pisos	7

SECCIÓN 2: Portafolio DIS

Proyectos notables	8
Reforzamiento de edificios históricos	9
Hospitales	9
Reforzamiento de puentes	10
Puentes nuevos	11
Aplicaciones especiales	11
Edificios con contenido de alto valor	12
Centros de Emergencia	12
Proyectos en Japón	13
Museos	13
Condominios	13

SECCIÓN 3: Ingeniería

Propiedades técnicas del aislador	14
Diseño y Modelado	16
Términos y Simbología	16
Ensayos de los aisladores	17
Preguntas más frecuentes	18

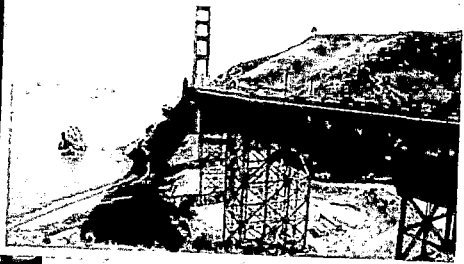
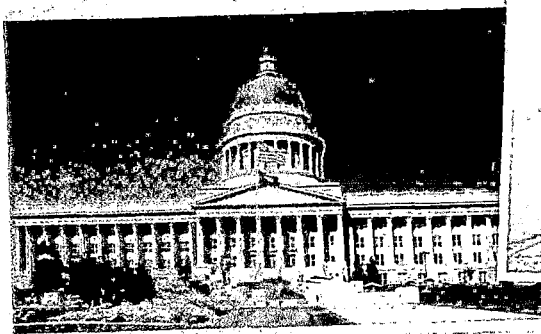


DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Sección 1: Aislamiento Sísmico

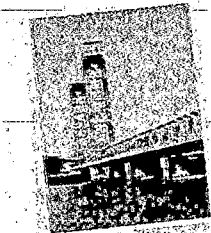
El aislamiento sísmico es una tecnología que protege las estructuras contra los efectos destructivos de un terremoto, separando la estructura del suelo y proporcionándole amortiguamiento.

Esta separación permite que el edificio se comporte con mayor flexibilidad, lo cual mejora su respuesta ante un terremoto. El amortiguamiento añadido permite que la energía del terremoto sea absorbida por el sistema de aislamiento, reduciendo la energía transferida a la estructura.



Izquierda: Edificio del Capitolio del Estado de Utah, Salt Lake City. Arriba: Puente Golden Gate, San Francisco, California.

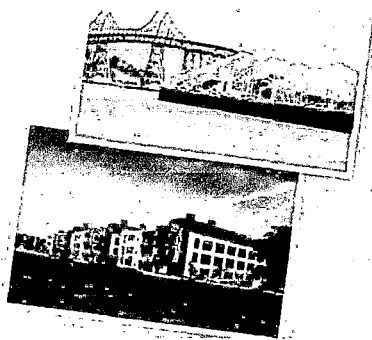
El aislamiento sísmico se obtiene físicamente mediante la colocación de aisladores debajo de la estructura. Los aisladores son elementos lateralmente flexibles y al mismo tiempo son capaces de soportar las cargas verticales de la estructura. Dado que los aisladores son más flexibles que la estructura, la mayor parte de los movimientos laterales se producen en los aisladores. Como resultado, la estructura aislada experimenta menos movimiento y una considerable reducción de las fuerzas sísmicas.



DEBIDO A QUE HAY MENOS MOVIMIENTO Y BAJOS ESFUERZOS EN LA SUPERESTRUCTURA, LAS VIDAS ESTÁN PROTEGIDAS, LOS CONTENIDOS SON PRESERVADOS y LAS EDIFICACIONES PERMANECEN OPERATIVAS.

¿Qué tipos de estructuras son factibles de aislar?

- ♦ Los hospitales, puentes y centros de emergencia que necesitan funcionar durante e inmediatamente después de un terremoto.
- ♦ Estructuras con contenidos valiosos o funcionales, tales como *data centers*, instalaciones de comunicaciones, locales de fabricación de alta tecnología y museos.
- ♦ Los edificios con alta densidad ocupacional, tales como residenciales/multifamiliares de baja y mediana altura, y edificios de oficinas.
- ♦ Estructuras declaradas como históricas.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislamiento Sísmico

¿Qué desempeño se puede esperar de una estructura con aislamiento?

El aislamiento sísmico proporciona un desempeño superior en comparación con el diseño estructural tradicional. Los esfuerzos y desplazamientos en la estructura se reducen hasta en un 75%. El sistema de aislamiento logra deformarse lateralmente durante un sismo. Después del sismo, el resultado es una estructura operativa y funcional con poco o ningún daño.



¿Qué desempeño se puede esperar de una estructura convencional?

El diseño estructural tradicional está orientado a prevenir las fallas y pérdida de vidas. Este enfoque de diseño no tiene en cuenta la ocupación inmediata, el mantenimiento del funcionamiento, ni asegura una fácil reparación. Para disipar la energía de un terremoto, el diseño dúctil de los elementos a flexión ayuda a evitar el colapso de la estructura. Inherente a este diseño, está la posibilidad de un daño significativo a la estructura, al contenido y una inoperativa e inservible estructura luego de un terremoto.

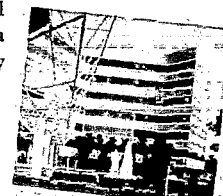
Las estructuras aisladas han demostrado un historial de excelente desempeño durante los terremotos.

¿Cómo han actuado los sistemas de aislamiento durante los terremotos?

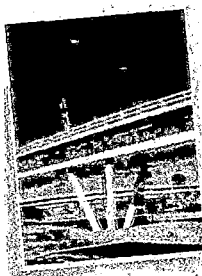
El Hospital USC fue aislado utilizando aisladores DIS (Dynamic Isolation Systems). El edificio se mantuvo operativo durante todo el terremoto de Northridge de 1994. No hubo daños en el Hospital USC. En contraste, el Centro Médico del Condado de Los Ángeles ubicado a menos de una milla de distancia, sufrió daños valorizados en 400 millones de dólares y no continuó en funcionamiento después del terremoto.

El Stanford Linear Accelerator en Palo Alto, California resultó sin ningún daño en el terremoto de Loma Prieta en 1989. En otro lugar del campus, se reportaron daños por aproximadamente \$ 160 millones.

El Puente Eel River en el condado de Humboldt, California fue aislado utilizando aisladores DIS en 1988. Este puente experimentó aceleraciones de 0.55g en el Terremoto de Petrolia en 1992. El puente se desplazó 9 pulgadas lateralmente, retornó a su posición y no sufrió daños.

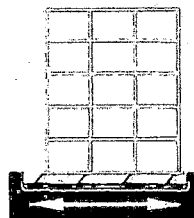


Hospital USC,
Los Angeles, California.

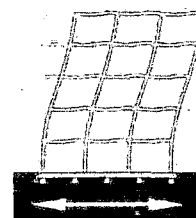


¿Cómo el aislamiento genera ahorro de costos?

En los puentes, el diseño de la cimentación se basa en fuerzas elásticas. El aislamiento reduce las fuerzas elásticas hasta en un 75%. Esto se traduce en un ahorro de costos directos en la cimentación. En los edificios, el aislamiento proporciona ahorro de costos durante la vida útil de la estructura. Un edificio aislado permanecerá esencialmente en buen estado durante un terremoto. En comparación, la estructura y el contenido de un edificio convencional resultarán dañados. Los ocupantes también experimentarán interrupción de sus negocios, a veces durante semanas o incluso meses.



Estructura aislada sísmicamente: Modelo de deformación de una estructura aislada durante un sismo. El movimiento tiene lugar en el nivel de los aisladores. Las aceleraciones de todos los pisos son bajas. El edificio, sus ocupantes y los contenidos están seguros.



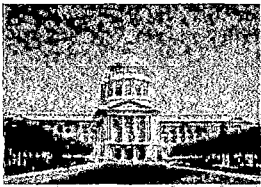
Estructura convencional: Modelo de deformación de una estructura convencional durante un terremoto. Las aceleraciones del terreno se amplifican en los pisos más elevados y los contenidos están dañados.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Dynamic Isolation Systems

Dynamic Isolation Systems desempeñó un papel importante en el desarrollo de la **tecnología de aislamiento sísmico**, incluida su comercialización desde la década de 1980.

DIS ha ayudado a desarrollar la normativa y apoya en el diseño y análisis a los ingenieros y organismos gubernamentales. Durante los últimos 20 años, los diseños antisísmicos se han incrementado considerablemente. DIS ha continuado desarrollando sus aisladores para un buen desempeño ante grandes desplazamientos laterales acompañados de elevadas cargas axiales.



Proyectos de aislamiento

Dynamic Isolation Systems ha proporcionado más de 12.000 aisladores para más de 250 puentes y edificaciones en todo el mundo. Algunos proyectos destacados de aislamiento a cargo de DIS incluyen el emblemático puente Golden Gate, el City Hall de San Francisco (izquierda) el cual fue dañado en el terremoto de Loma Prieta en 1989 y Tan Tzu Medical Center en Taiwán. Con 1.7 millones de pies cuadrados, es la estructura aislada más grande del mundo.

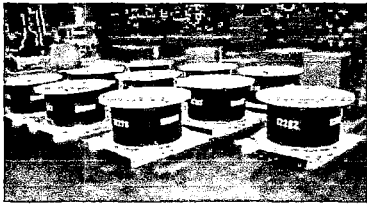
Soporte a los proyectos

Dynamic Isolation Systems puede ayudarle con su estudio de viabilidad, la elaboración del presupuesto y la ingeniería de valor de su proyecto. Hemos sido capaces de reducir los costos del sistema de aislamiento en un 30% en proyectos en los que podemos prestar nuestra experiencia para el diseño del aislador y la combinación de productos. Nuestros ingenieros pueden proporcionar apoyo técnico y los parámetros para el modelado estructural.

Capacidades de fabricación

◆ Instalaciones

La planta de fabricación de 60,000 pies cuadrados de Dynamic Isolation Systems está ubicada en Sparks, Nevada, EE.UU. Ubicada cerca de la Interestatal 80, le permite la facilidad del transporte de mercancías en todos los Estados Unidos, y a todo el mundo vía el puerto de Oakland en California.



Más de 12,000 aisladores han sido fabricados por DIS.

◆ Capacidades de prensado

Dynamic Isolation Systems moldea en prensas diseñadas y fabricadas a medida, las cuales van desde 200 hasta 4,400 toneladas. En respuesta a la creciente demanda de aisladores de mayor tamaño, DIS ahora cuenta con cuatro prensas de más de 2,000 toneladas de capacidad. Los más grandes aisladores que hemos fabricado son de 60 pulgadas de diámetro y pesan 10 toneladas cada uno.

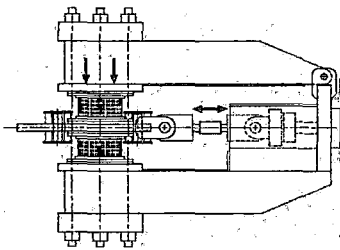
◆ Mecanizado

El procesamiento del acero es una parte importante en la fabricación de nuestros aisladores. Dos grandes centros de procesamiento mecanizado Computer Numeric Controlled (CNC) procesan la mayor parte de nuestras placas de acero, con una capacidad de placas de 80 pulgadas de ancho.

◆ Pruebas

Nuestra plataforma principal de prueba tiene un desplazamiento de rotura de ± 31 pulgadas, una capacidad de corte de 700 toneladas y una capacidad de fuerza axial de 2.000 toneladas.

Las pruebas también se efectúan en una máquina más pequeña que tiene una capacidad de desplazamiento de rotura de ± 12 pulgadas, una capacidad de fuerza de corte de 100 toneladas y una capacidad de fuerza axial de 600 toneladas.



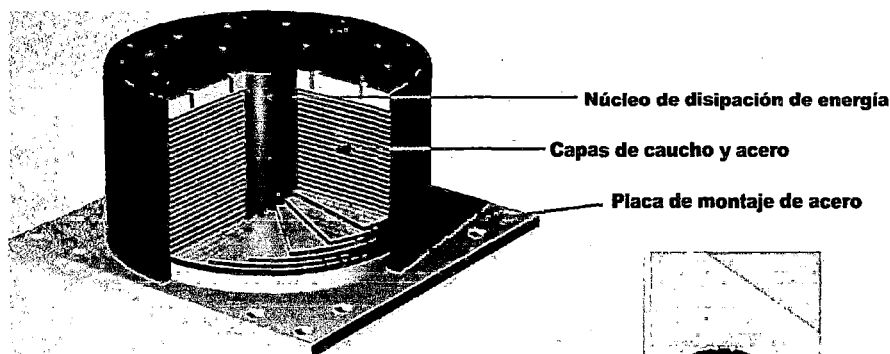
Más de 20,000 ensayos realizados con el equipo de prueba de 2000 toneladas.



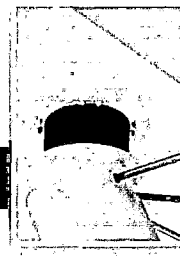
DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislador sísmico

Los aisladores constan de un soporte de caucho y acero laminado, con placas de acero que se conectan a la estructura. El 90% de nuestros aisladores tienen un núcleo de plomo para mayor disipación de energía.



Este es un Lead Rubber Bearing (LRB) de DIS. Las capas de caucho vulcanizado están laminadas entre placas de acero para formar un soporte estructural flexible (No se muestra la placa de montaje superior.)



Función del aislador

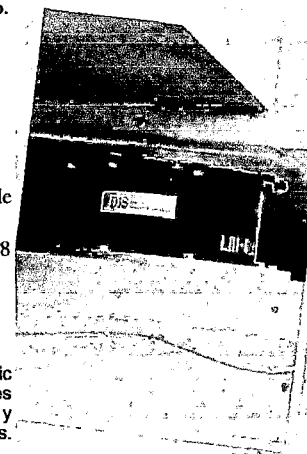
El caucho en el aislador actúa como un resorte. Horizontalmente son muy flexibles pero verticalmente muy rígidos. La alta rigidez vertical se consigue gracias a las capas delgadas de caucho reforzadas con placas de acero. Estas dos características permiten que el aislador se mueva lateralmente con una rigidez relativamente baja, aun teniendo una carga axial significativa debido a su elevada rigidez vertical. El núcleo de plomo proporciona amortiguamiento, deformándose plásticamente cuando el aislador se mueve lateralmente en un terremoto.

Rangos de dimensionamiento

Se fabrican aisladores de 12 a 60 pulgadas de diámetro con una capacidad de hasta 4.000 toneladas. Están disponibles medidas específicas del cliente para aplicaciones especiales.

Fabricación

Las placas para los aisladores se cortan con exigentes tolerancias por láser. Las placas de montaje de acero son fabricadas por fresadoras controladas por ordenador que dan un alto rendimiento de producción y precisión. El moldeo por cada soporte toma de 8 a 48 horas, dependiendo de su tamaño. La fase de curado se controla continuamente para asegurar de que el caucho endurezca de manera uniforme en todo el soporte.



Nuevas construcciones o reforzamientos: Durante más de dos décadas, Dynamic Isolation Systems ha estado ayudando a los arquitectos, ingenieros, empresas e instituciones con la correcta tecnología de protección antisísmica, la cual se adecúa con las necesidades y requisitos específicos para sus respectivas estructuras.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislador deslizante

Un aislador deslizante consiste en un disco de PTFE (Teflón) que se desliza sobre una placa de acero inoxidable. Este deslizador puede estar fabricado con o sin un soporte elastomérico.

Función deslizante

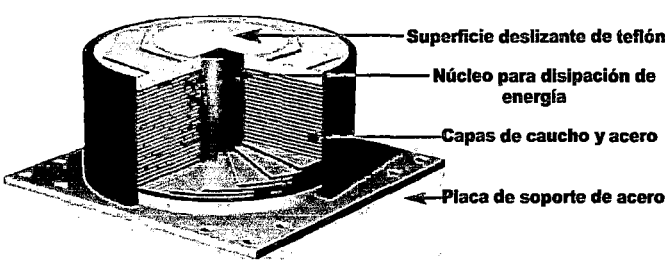
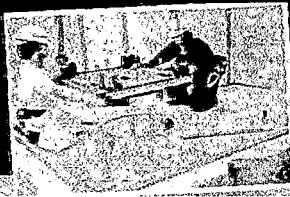
Los deslizadores soportan cargas verticales y tienen una baja resistencia lateral. Se utilizan típicamente junto con los aisladores y permiten que el diseñador optimice el rendimiento del sistema de aislamiento. En algunas aplicaciones se colocan en las partes menos pesadas de la estructura, tales como escaleras y columnas de poca carga. El soporte elastomérico se utiliza para acomodar las rotaciones en la estructura. Un beneficio adicional de los deslizadores es que proporcionan amortiguamiento por fricción por deslizamiento.

Rangos de dimensiones

Los deslizadores son de 12 a 41 pulgadas de diámetro.

Fabricación del deslizador

Los deslizadores son fabricados con discos de teflón acoplados sobre una superficie deslizante de acero inoxidable.



Este deslizador fue diseñado específicamente para el Proyecto Berry Street, en San Francisco. Fue diseñado para deslizarse 30 pulg, y luego se deforma por corte otras 15 pulg, una vez que se engancha a una placa de contención. DIS fabrica y suelda todas las partes del conjunto deslizante en fábrica.

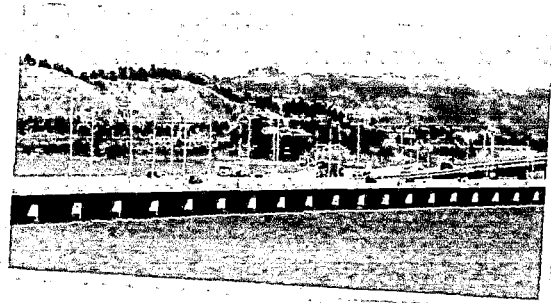
Productos adicionales

Estructuras de acero y fijaciones

Dynamic Isolation Systems procesa más de 2000 tons de acero al año. Las placas de montaje de acero, placas de soporte, pernos de anclaje y sujetadores a menudo son fabricadas y suministradas con los aisladores DIS.

Soportes especiales

Dynamic Isolation Systems diseña y fabrica soportes para aplicaciones no sísmicas, tales como cargadores de buques. El propósito de los soportes es controlar los esfuerzos dentro de la estructura durante la descarga de petróleo en los petroleros.



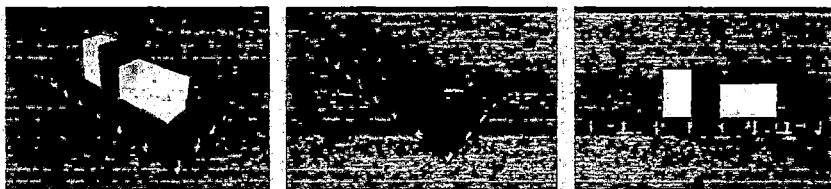
Puente San Rafael en Richmond:
Dynamic Isolation Systems ha desarrollado y fabricado soportes de puentes para CALTRANS con una mayor resistencia a la corrosión. Los soportes se encuentran dos metros por encima de la línea de flotación, se fabricaron con una baja permeabilidad del caucho y en acero inoxidable.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislamiento de pisos

El sistema de aislamiento de pisos DIS es un nuevo producto desarrollado. La protección de pisos cuenta con un reciente invento, una unidad de muelles multi-direccionales que tiene una rigidez muy baja en comparación con un aislador para edificios.

Están disponibles dispositivos con una rigidez de hasta 30 libras/pulg. El sistema es modular y puede ser utilizado como una plataforma aislada del suelo o como un sistema completo de piso.



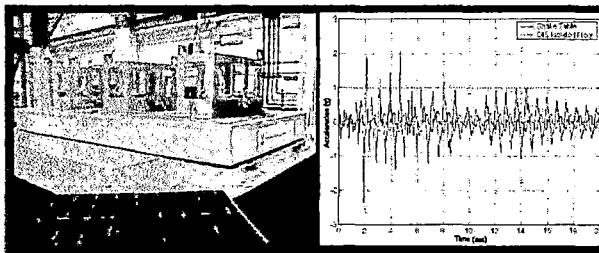
Estos gráficos muestran el modelo por computadora en SAP 2000 de un piso que se puso a prueba en la Universidad de Nevada, Reno. La medida del piso es 14 pies de ancho por 6 pies de profundidad. Hay módulos estándar de 4 pies por 6 pies en cada extremo, los cuales están unidos por largueros de 6 pies de largo. Los módulos se conectan a las unidades de muelles multi-direccionales y contienen rodillo y soportes de deslizamiento. Las baldosas informáticas conforman la superficie superior del piso.

¿De qué manera el aislamiento del piso difiere del aislamiento estructural estándar?

Un sistema de aislamiento de piso se instala en el interior del edificio y no es parte de la estructura. El aislamiento tradicional se instala debajo de columnas y es parte integral de la superestructura. El mismo nivel de protección antisísmica puede lograrse con ambos sistemas.

¿Cuándo es buena solución de diseño el aislamiento de piso?

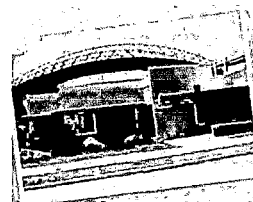
El aislamiento de piso es una buena alternativa cuando el aislamiento de todo el edificio no es práctico ni económico. Si usted es un inquilino, el rendimiento superior del aislamiento se puede lograr con el aislamiento de piso dentro del edificio. Los centros de datos, equipos médicos, procesos de fabricación de alta tecnología, obras de arte y productos valiosos tales como vacunas requieren mayor protección sísmica que el proporcionado por una estructura convencional.



El sistema de aislamiento de piso de DIS fue probado en la mesa vibratoria de la Universidad de Nevada, Reno. Se dio un rendimiento excelente que estaba acorde con nuestros modelos analíticos. Para esta prueba, la aceleración máxima se redujo de 2 g a 0.4 g. Las aceleraciones espectrales también se redujeron hasta por un factor de cinco.

¿Cuál fue nuestro primer proyecto aislamiento de piso?

El primer proyecto de aislamiento de piso fue el Centro de Emergencias del condado de King en Seattle, Washington. El sistema del piso protegió equipos de comunicaciones e involucró a aislar una losa de concreto con aisladores de caucho, plomo y deslizadores. El nuevo sistema de aislamiento de piso DIS es una solución ágil que permite su uso en cualquier piso de un edificio.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

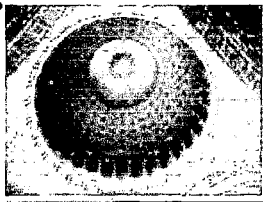
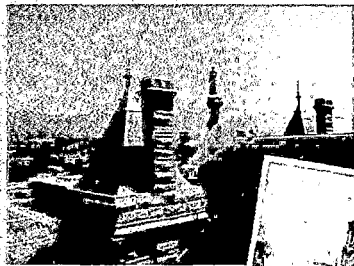
Sección 2: Portafolio DIS

Proyectos notables

Dynamic Isolation Systems ha estado a la vanguardia del aislamiento sísmico durante **más de 25 años**. Suministrando aisladores para la mayoría de proyectos de aislamiento prominentes de todo el mundo.

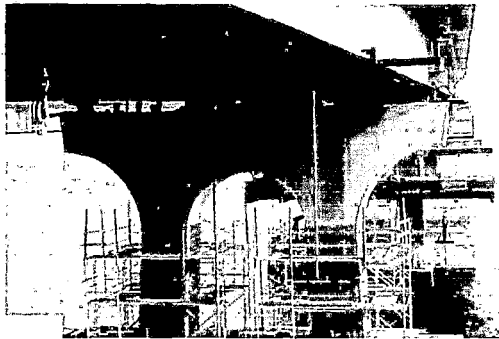
City Hall de San Francisco

Este importante y conocido edificio de la Costa Oeste de los EEUU fue dañado por el terremoto de Loma Prieta en 1989, y ha sido restaurado y protegido para futuras actividades sísmicas. DIS instaló 530 aisladores sísmicos, por lo que es el proyecto más grande de reforzamiento sísmico en el mundo.



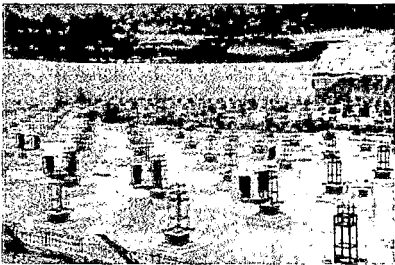
Salt Lake City and County Building

El City and County Building fue el primer reforzamiento con aislamiento sísmico en el mundo. El edificio modernizado está diseñado para soportar terremotos superiores a 7.0 grados en la escala de Richter. Se trata de una estructura de muros de corte construido de ladrillo no reforzado y piedra arenisca. Fue terminado en 1894 con el estilo románico de Richardson.



Puente Coronado Bay Bridge en San Diego

Este importante proyecto fue el primero en incorporar pruebas de alta velocidad para aisladores. Para su programa de reforzamiento del puente, *Caltrans* construyó un modelo a escala en las instalaciones de la Universidad de San Diego, California con lo último de la tecnología. El aislador de prueba fue el primero en ser capaz de probar los desplazamientos a velocidades reales, como terremotos. Los dispositivos están diseñados para soportar una ruptura de falla 1.2 metros por debajo del puente.



Centro Médico Tan Tzu

El Centro Médico Tan Tzu en Taiwán se encuentra en construcción y con sus 1.7 millones de pies cuadrados es la mayor estructura aislada del mundo. Es el tercer hospital de Taiwán donde DIS ha suministrado aisladores. El aislamiento de base fue elegido para que el hospital continuara en funcionamiento inmediatamente después de un terremoto.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Reforzamiento de edificios históricos

El aislamiento sísmico es el mejor método para reacondicionar los edificios históricos a los actuales estándares de diseño sísmico. Como el aislamiento reduce los esfuerzos en la estructura, se puede conservar arquitectura original.



Edificio parlamentario de Nueva Zelanda

El aislamiento de base fue elegido para cumplir con los objetivos de conservación. Permitió la máxima preservación de los materiales y mano de obra originales dentro de los edificios y evitó cualquier modificación en el aspecto exterior.

Otros reforzamientos de edificios históricos usando aisladores DIS incluyen el Oakland City Hall, Kerckhoff Hall en la UCLA y el Campbell Hall en Western Oregon State College.



Edificio del Capitolio del Estado de Utah

El edificio del capitolio del estado de Utah cuenta con una Arquitectura Corintia e integra los conceptos de diseño tomados de otros Capitolios Nacionales. Fue construido en 1915. Los materiales de la zona y los elementos ornamentales de diseño personalizado le dan al edificio su carácter único.

Hospitales

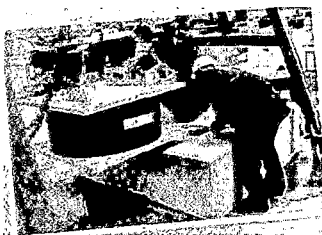
Es indispensable que los hospitales continúen funcionando después un terremoto. El aislamiento evita que se presenten daños en los hospitales, su funcionamiento protege al personal y a los pacientes.

Xindian General Hospital

Las pruebas para este hospital en Taiwán se realizaron en la Universidad de San Diego, para el desplazamiento lateral de un metro. La deformación por corte en el aislador fue de 400%, el cual es muy superior al requerido en el diseño sísmico. Este tipo de pruebas demuestra el alto rendimiento de los aisladores DIS. También suministró aisladores para los hospitales de Hualin y Tan Tzu en Taiwán.



Arriba: Hospital Yuzawa, Japón. Debajo: Un deslizador instalado en el Hospital Takasu, Japón.



Hospital de Erzurum

Trabajadores instalando aisladores para el Hospital Erzurum, zona este de Turquía. El Ministerio de Salud de Turquía planea construir muchos nuevos hospitales en los próximos diez años, y es partidario de usar las mejores tecnologías tal como el aislamiento de base.

Hospital USC, Centro Médico Arrowhead y la Administración para el Hospital de Veteranos de Long Beach.

Todos estos hospitales están ubicados en California y se encuentran bajo la supervisión del OSHPD (Office of Statewide Health Planning and Development) con el que venimos trabajando durante 15 años.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

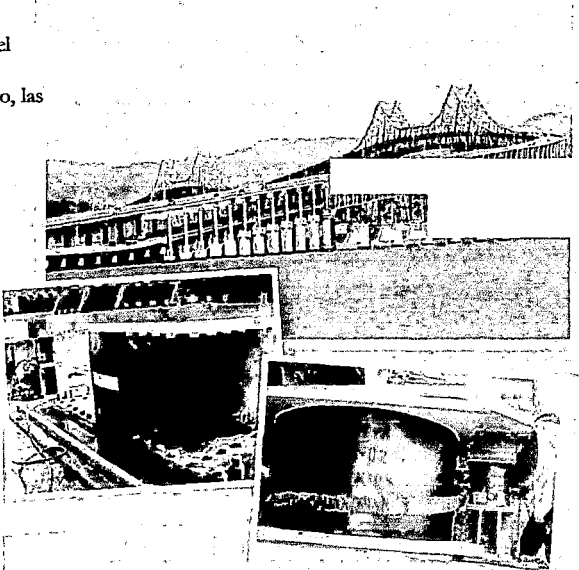
Reforzamiento de puentes

Los puentes se benefician del aislamiento debido a que se evita el reforzamiento de los pilares y cimientos existentes. El aislamiento reduce los esfuerzos sísmicos en la estructura y permite que el diseñador redistribuya los esfuerzos en toda la estructura. Los aisladores DIS se han utilizado en más de cincuenta proyectos de reacondicionamiento de puentes.

Puente San Rafael en Richmond

El puente San Rafael en Richmond se beneficia del aislamiento ya que los esfuerzos pueden ser redistribuidos en toda la estructura. Sin aislamiento, las significativas diferencias de alturas de los pilares podrían ocasionar que los pilares más rígidos y más cortos atraigan la mayoría de los esfuerzos laterales. La estructura requiere un alto nivel nominal de fuerza inicial, debido a las altas cargas del viento. DIS ha diseñado y fabricado aisladores con un diámetro de 55 pulgadas, con tres núcleos de plomo de 11 pulgadas de diámetro.

En el extremo oeste del puente, los soportes se encuentran en la zona de contacto intermitente con el agua, a sólo seis metros sobre el nivel del mar. DIS y Caltrans han diseñado estos soportes para proporcionar una alta resistencia a la corrosión. Los soportes son fabricados con caucho de baja permeabilidad, planchas de acero inoxidable y una sola placa.



Puente Golden Gate

El acceso norte del puente Golden Gate está reforzado con aisladores DIS. Los aisladores garantizan que el puente pueda resistir un terremoto de magnitud 8.3.



Puente Rio Vista
Ubicación típica de un aislador en el reforzamiento del puente Rio Vista en California.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

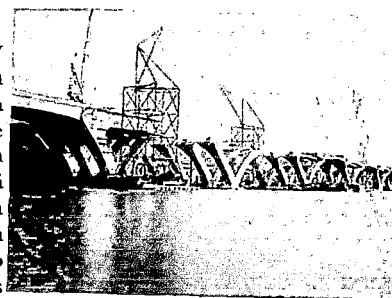
Puentes nuevos

**Acueducto Patria**

La reducción de los esfuerzos en la subestructura debido al aislamiento, le permiten una simplicidad estética con elegantes estructuras en este puente en Guadalajara, México. Los esfuerzos reducidos en la cimentación dan como resultado un 50% menos de pilares.

Puente Woodrow Wilson

Este puente levadizo atraviesa el río Potomac, cerca de Washington, DC. Este importante puente con un tránsito de más de 250.000 vehículos diarios, está en una zona sísmica baja. Sin embargo, la redistribución de las fuerzas y desempeño en condiciones de servicio con el aislamiento sísmico, lo hacen una opción atractiva para los diseñadores.

**Tren ligero JFK**

El sistema de tren ligero elevado JFK conecta el aeropuerto JFK con el sistema de metro de Nueva York. El puente es de diez kilómetros de largo y está apoyado sobre 1,364 aisladores DIS. El contratista del diseño y construcción escogió el aislamiento para ahorrar costos de cimentación. Además a medida que las cimentaciones fueron más pequeñas, se realizaron significativos ahorros adicionales en los costos de reubicación de los servicios subterráneos del aeropuerto a lo largo de la autopista Van Wyck.

**Puente Mexicali**

El aislamiento reduce a la mitad el costo de las cimentaciones en este puente. Las bases requieren sólo dos tercios del concreto y un tercio del acero de refuerzo que se habrían requerido con un diseño convencional.

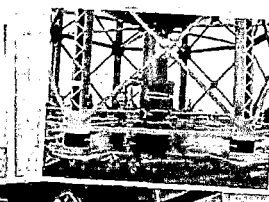
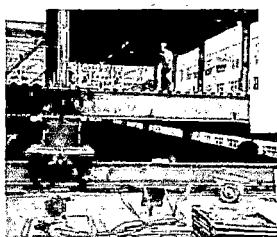


Aplicaciones especiales

Proyecto Berry Street

El Proyecto de Berry Street en San Francisco cuenta con aislamiento sobre el techo de un edificio de tres plantas existentes. El aislamiento permitió al propietario sumar dos pisos adicionales con mínimo refuerzo de la estructura existente.

Como la aplicación es bastante singular, las pruebas se efectuaron con desplazamiento lateral de 45 pulgadas. Esto es superior al desplazamiento de diseño de 30 pulgadas.



Tanque de agua mejorado en Seattle, Washington.

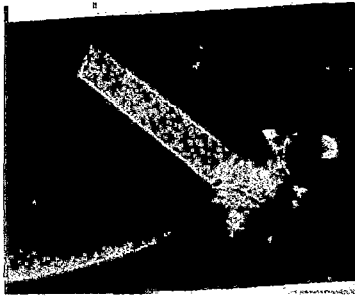


El Stanford Linear Accelerator en Palo Alto, California está protegido por aisladores DIS.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Edificios con contenidos de alto valor

El aislamiento también previene daños a los contenidos en el caso de un terremoto.

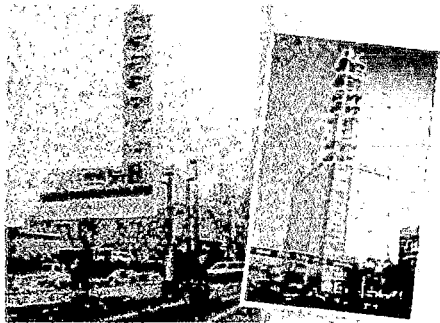


Edificio Hughes S-12

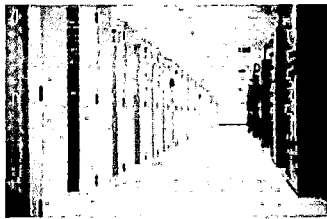
El edificio Hughes S-12 en Los Angeles es fundamental para el funcionamiento del satélite Hughes. El edificio de 12 pisos se mantuvo operativo durante el reforzamiento. La probabilidad de daños o interrupciones en el diseño de sismos ha sido prácticamente eliminada.

Immunex Campus

Este Centro de Investigación y Tecnología está ubicada en la línea costera para estudios de sistemas inmunológicos de Seattle, y el desarrollo de la terapia con medicamentos. También cuenta con US\$ 50 millones de dólares en equipos de última generación. El propietario también estaba preocupado para prevenir que un terremoto afecte el centro de labores durante varios meses con un costo para la empresa.

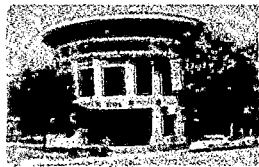


Estudios de televisión y edificios de telecomunicaciones, tales como éstos en Japón. Se han aislado a fin de evitar la interrupción del servicio.



DIS también ha aislado Centros de datos para Kaiser Permanente, Mountain Fuel and Evans & Sutherland

Centros de emergencia



Edificio de seguridad pública en Berkeley

El edificio de Seguridad Pública de Berkeley es uno de los muchos centros de emergencia construidos recientemente a lo largo de los Estados Unidos. La construcción con lo último de la tecnología

está diseñado para soportar un terremoto de magnitud 7.0 en la escala de Richter y seguir funcionando. Alberga el Centro de comunicaciones de emergencia 911 de la ciudad el cual es un centro vital en el Plan de Respuesta a Emergencias de la ciudad.



Plantas de semiconductores Conexant

Las tres plantas de semiconductores Conexant en Mexico y California están protegidas por los aisladores DIS. En caso de un terremoto, protegen los activos y evitan pérdidas por miles de millones.



Central 911 Long Beach

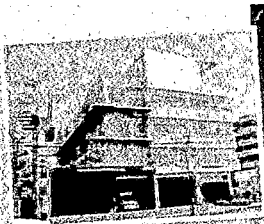
Centro de emergencia de San Diego



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Proyectos en Japón

Dynamic Isolation Systems ha suministrado aisladores a más de 80 proyectos en Japón. Japón ha liderado el uso de tecnologías avanzadas a nivel mundial tales como el aislamiento de base, amortiguadores, apoyos para frenar la deformación y amortiguadores de masa sintonizada.



La Estación de Bomberos de Funabashi es una de muchas estaciones en Japón que han sido aisladas.



High City Kyosumi utiliza aisladores de 1500mm de diámetro que fueron los más grandes jamás construidos.



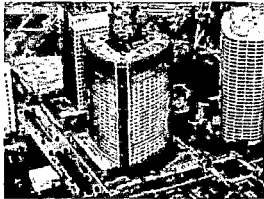
Los Hospitales Takasu y Yuzawa usan aisladores y deslizadores suministrados por DIS.



El Edificio MM21 en Yokohama es un proyecto de oficinas a gran escala.



Condominios tales como el Fukae Mitsuke frecuentemente son aislados.



Museos

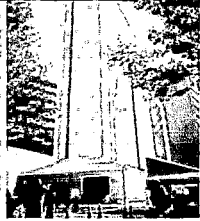
Los museos son los candidatos naturales para el aislamiento sísmico, ya que proporcionan la mejor protección disponible para los contenidos de un edificio.

Museo de Arte Asiático

La primera biblioteca de la ciudad de San Francisco ha sido reforzada y ahora alberga más de cinco mil millones de dólares en obras de arte asiático y está protegido por más de 200 aisladores DIS.

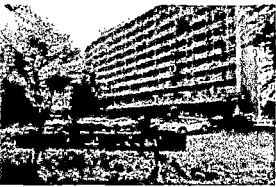


F-Museum Diez aisladores de caucho protegen estos 7 pisos y 40,000 pies cuadrados de construcción en Tokyo, Japón.



Condominios

Muchos residentes optan por vivir en edificios aislados por estar mejor protegidos.



Channing House Residencias en Palo Alto, California.

Condominios Kamikuzawa, Japón



Instalación de un aislador de 1500mm de diámetro para el Condominio High City Kyosumi en Japón.

Sección 3: Ingeniería

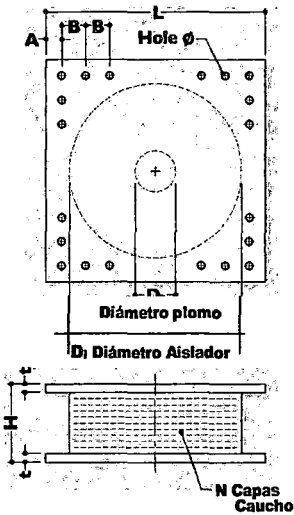
Propiedades técnicas del Aislador

Propiedades del aislador: Unidades Americanas

TAMANO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE						
Diámetro Aislador, D (in)	Altura Aislador, H (in)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo D _i (in)	L (in)	T (in)	Cantidad orificios	Orificio ø (in)	A (in)	B (in)	
12.0	5-11	4-14	0-4	14	1	4	1 1/16	2		-
14.0	6-12	5-16	0-4	16	1	4	1 1/16	2	-	-
16.0	7-13	6-20	0-5	18	1	4	1 1/16	2	-	-
18.0	7-14	6-20	0-5	20	1	4	1 1/16	2	-	-
20.5	8-15	8-24	0-7	22.5	1	8	1 1/16	2	2	2
22.5	8-15	8-24	0-7	24.5	1	8	1 1/16	2	2	2
25.5	8-15	8-24	0-8	27.5	1.25	8	1 1/16	2	2	2
27.5	8-17	8-30	0-8	29.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3	3
29.5	9-18	8-30	0-9	31.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3	3
31.5	9-20	8-33	0-9	33.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3	3
33.5	9-21	8-35	0-10	35.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75	3.75
35.5	10-22	9-37	0-10	37.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75	3.75
37.5	10-23	10-40	0-11	39.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75	3.75
39.5	11-25	11-40	0-11	41.5	1.5	12	1 9/16	3	4.5	4.5
41.5	12-26	12-45	0-12	43.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5	4.5
45.5	13-30	14-45	0-13	47.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5	4.5
49.5	14-30	16-45	0-14	52.5	1.75	16	1 9/16	3	4.5	4.5
53.5	16-30	18-45	0-15	56.5	2	16	1 9/16	3	4.5	4.5
57.1	17-30	20-45	0-16	60	2	20	1 9/16	3	4.5	4.5
61.0	18-30	22-45	0-16	64	2	20	1 9/16	3	4.5	4.5

- (1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del de caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.
- (2) Los Módulos de corte de caucho (G) están disponibles desde 55 psi hasta 100 psi.
- (3) Para el modelamiento analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice $K_e=10 \cdot K_d$.

Diámetro Aislador, D (in)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D _{max} (in)	Capacidad Carga Axial, P _{max} (kips)
	Rigidez Producida, K _d (k/in)	Resistencia Característica, Q _e (kips)	Rigidez a la Compresión, K _c (k/in)		
12.0	1-5	0-15	>250	6	100
14.0	1-7	0-15	>500	6	150
16.0	2-9	0-25	>500	8	200
18.0	2-11	0-25	>500	10	250
20.5	2-13	0-40	>1,000	12	300
22.5	3-16	0-40	>3,000	14	400
25.5	3-20	0-50	>4,000	16	600
27.5	3-24	0-50	>4,500	18	700
29.5	3-27	0-60	>5,000	18	800
31.5	4-30	0-60	>6,000	20	900
33.5	4-35	0-80	>7,000	22	1,100
35.5	4-35	0-80	>8,000	22	1,300
37.5	4-35	0-110	>10,000	24	1,500
39.5	5-36	0-110	>11,000	26	1,700
41.5	5-36	0-130	>12,000	28	1,900
45.5	6-37	0-150	>16,000	30	3,100
49.5	7-38	0-170	>21,000	32	4,600
53.5	8-40	0-200	>29,000	34	6,200
57.1	9-41	0-230	>30,000	36	7,500
61.0	10-42	0-230	>37,000	36	9,000



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Ingeniería

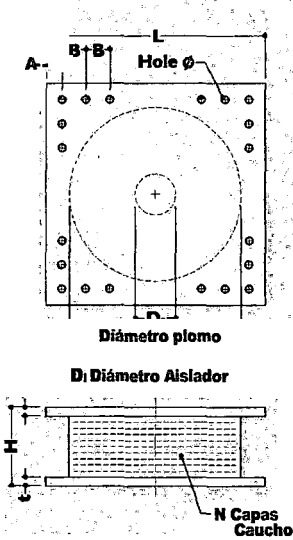
Propiedades técnicas del Aislador

Propiedades del aislador: Unidades métricas

TAMANO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diámetro Aislador, D _i (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo, D _p (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

- (1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.
- (2) Los Módulos de Corte del Caucho (G) están disponibles desde 0.38 N/mm² hasta 0.70 N/mm².
- (3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice K₀=10*K_d.

Diámetro Aislador, D _i (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D _{max} (mm)	Capacidad Carga Axial P _{max} (kN)
	Rigidez Producida, K _d (kN/mm)	Resistencia Característica Q _d (kN)	Rigidez a la compresión, K _v (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Diseño y Modelado

Los aisladores se pueden modelar de forma explícita en un software de análisis tal como ETABS, SAP2000 y LARSA. Cuando el software no soporta explícitamente un dispositivo aislador, se pueden utilizar un resorte o un tramo de columna para simular el aislador.

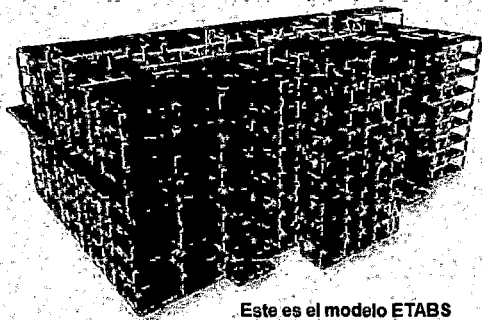
El comportamiento de un soporte de caucho con núcleo puede ser modelado como un elemento de histéresis bilineal, con una rigidez inicial (K_e), rendimiento de la fuerza (F_y) y la rigidez secundaria (K_2 o K_d).

Para el análisis espectral, se requiere la rigidez efectiva (K_{eff}) y el amortiguamiento viscoso equivalente, el cual se obtiene a partir de la FDC (energía disipada por ciclo) del aislador.

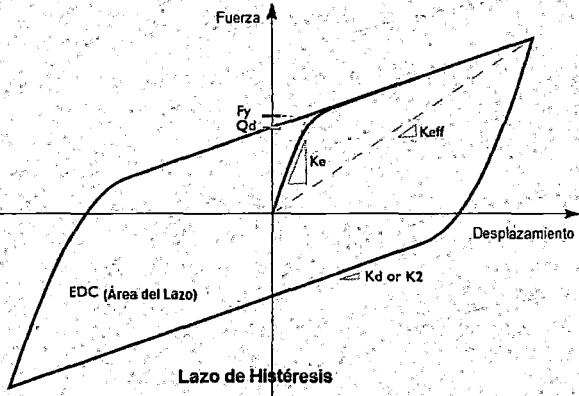
Para el análisis Tiempo - Historia no lineal, se utilizan las propiedades bilineales del aislador (rigidez inicial K_e , rendimiento de la fuerza F_y y la rigidez secundaria K_2). También se requiere la rigidez vertical de los aisladores como parte de la descripción del elemento. Una característica interesante de los aisladores elastoméricos es que la rigidez de compresión es aproximadamente 100 veces la rigidez a la tracción. Se debe tener cuidado en el modelado de la rigidez vertical rigidez a fin de garantizar la exactitud de los resultados analíticos.

Los valores típicos de estos parámetros para una amplia gama de aisladores DIS, son mostrados en las Tablas de Propiedades de Aislador (Páginas 14 y 15).

DIS puede proporcionar los parámetros específicos para el modelado y ayudar con la puesta a punto del sistema de aislamiento a lo largo del proceso de diseño.



Este es el modelo ETABS para un hospital



Términos y Simbología

Lazo de histéresis: Esta es la gráfica fuerza-desplazamiento generado por la prueba de corte en un aislador.

Rigidez elástica, K_e : Esta es la rigidez inicial del aislador, y es típicamente inferior a una pulgada de desplazamiento. Su valor estará determinado por el tamaño del núcleo de plomo y es importante en el control de la respuesta a las cargas operativas tales como el viento.

Rigidez producida, K_d o K_2 : Esta es la rigidez secundaria del aislador y es una función del módulo, altura total y el área del caucho.

K_{eff} (Rigidez efectiva): Esta es la fuerza del aislador dividida por el desplazamiento. Es una cantidad dependiente del desplazamiento.

Fuerza de histéresis, Q_d : Esta es una fuerza axial de intersección del lazo de histéresis del aislador. Este parámetro se refiere a la respuesta al amortiguamiento y a las cargas operativas del aislador.

Fuerza, F_y : La fuerza de fluencia es el punto en el modelo en el cual la rigidez inicial cambia a rigidez secundaria. En realidad, hay una transición suave entre una rigidez a otra, en lugar de un punto bien definido. Este valor se utiliza principalmente en el modelamiento analítico.

Energía disipada por ciclo, EDC: Esta es el área del lazo de histéresis. Este valor es un parámetro de medición del amortiguamiento del aislador.

Rigidez vertical, K_v : Esta es la rigidez vertical del aislador.

DBE (Sismo de diseño): EL DBE representa el movimiento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años.

MCE (sismo máximo probable): El MCE es definido como el movimiento sísmico que tiene un 2% de probabilidad de ser excedido en 50 años.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

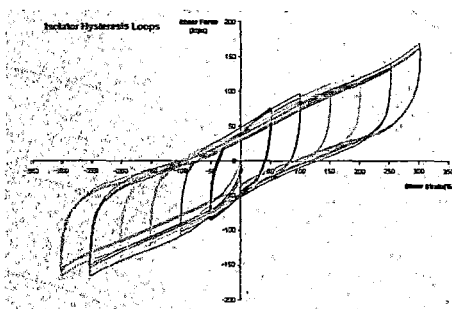
Ensayos de los Aisladores

Las normas de los Estados Unidos exigen ensayos para cada proyecto. Los ensayos de los prototipos validan las propiedades de aislamiento sobre la gama de cargas y desplazamientos del proyecto. Los ensayos de los prototipos se pueden eliminar si se tienen ensayos de anteriores proyectos con propiedades similares. Los ensayos de fabricación comprueban las propiedades de los aisladores bajo carga y las condiciones de desplazamiento.

Para proyectos japoneses, se efectuaron extensas pruebas a nuestra gama de aisladores sobre el esfuerzo y tensiones específicas. Esta prueba de precalificación eliminó las pruebas de prototipos para proyectos individuales. Únicamente las pruebas de control de calidad se efectuaban sobre los aisladores de obra, lo que reduce los costos y acorta el cronograma por hasta tres meses.

Pruebas de lazo histerético

Los aisladores son probados en pares en nuestra planta e individualmente en laboratorios como los de la Universidad de California, San Diego (UCSD). La máquina de prueba aplica un desplazamiento de corte y una carga axial al aislador. El diagrama de esta prueba se llama lazo de histéresis. El siguiente gráfico de esta prueba muestra las fuerzas de corte y desplazamiento lateral para el aislador y muestra el comportamiento de aisladores para una gama de tensiones de hasta 300%.



Pruebas en Tiempo real

DIS ha probado 30 aisladores a velocidades sísmicas reales de hasta 60 pulgadas por segundo. Las pruebas se efectuaron en la Universidad de California, San Diego. Estas pruebas validan el rendimiento de nuestros aisladores en condiciones sísmicas y proporcionan datos detallados de la velocidad de los aisladores. Se han llevado a cabo más de 500 pruebas, en los últimos siete años en aisladores de hasta 53.5 pulgadas (1300 mm) de diámetro.



Los soportes para el puente Coronado Bay fueron los primeros en ser probados a velocidades sísmicas en la UCSD por Caltrans.

Pruebas a grandes tensiones

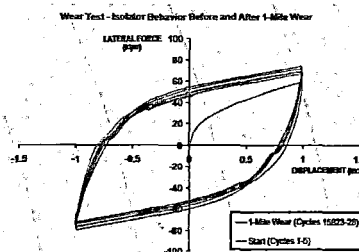
DIS ha llevado a cabo extensas pruebas a altas tensión en aisladores de hasta 53.5 pulgadas (1300 mm) de diámetro. Los aisladores con y sin núcleos de plomo han sido probados con éxito a más del 400% de tensión de corte. Las deformaciones por diseño de cortes típicos están en el rango de 200 a 250%. Otras pruebas notables de grandes desplazamientos realizadas por DIS, incluyen un aislador de 45.5 pulgadas (1200 mm) de diámetro (abajo) se está probando a 45 pulgadas (1140 mm) de desplazamiento para el Proyecto Berry Street en California.



Un aislador de 41.5 pulgadas (1100 mm) de diámetro también fue probado con 47 pulgadas (1200 mm) de desplazamiento de corte. Este soporte fue probado como parte de un programa de investigación para una estructura aislada para toma de una presa.

Prueba de desgaste de 1 milla

Una prueba de desgaste a una milla (1.6km) se realizó sobre los aisladores DIS en el Laboratorio SEES, SUNY en Buffalo. Las pruebas se efectuaron como parte de las pruebas de prototipo para el nuevo puente Woodrow Wilson sobre el río Potomac, en Maryland. Esta prueba simula el efecto en el curso de la vida útil de las expansiones y contracciones térmicas de la cubierta del puente. Los resultados mostrados en la siguiente imagen muestran que las propiedades del aislador se mantuvieron sin cambios por este extenso ensayo.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Preguntas más frecuentes

¿A qué se refiere la deformación por corte?

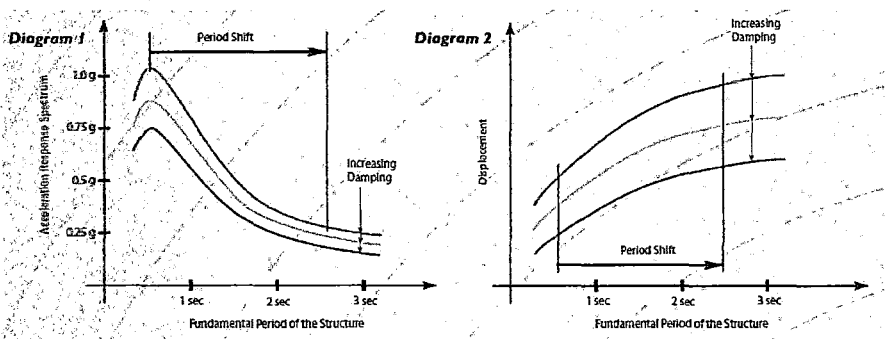
La deformación por corte es la deformación lateral del aislador dividido por la altura del caucho. Los diseños de deformaciones por corte por lo general son hasta un 250%. DIS ha probado aisladores a más de 400% de deformación por corte. A esta deformación, cada capa de caucho se deforma lateralmente hasta cuatro veces su espesor. Las deformaciones por corte extremas durante las pruebas de investigación son un testimonio de los altos estándares de fabricación y componentes desarrollados por DIS, lo que proporcionan un aislador con capacidad de reserva.

¿Cuáles son los típicos desplazamientos de diseño?

En zonas altamente sísmicas como las de San Francisco, Tokio y Estambul, los desplazamientos de los aisladores son de hasta 30 pulgadas (750mm). Para estructuras más alejadas de las fallas o en mejores suelos, los desplazamientos de los aisladores son de hasta 20 pulgadas (500 mm), y en zonas de baja sismicidad como el este de los Estados Unidos, los movimientos están en el rango de 2 a 6 pulgadas (50 a 150 mm). DIS ha probado aisladores a 47 pulgadas de desplazamiento lateral y proporciona aisladores para todas las zonas sísmicas en todo el mundo.

¿Cómo es el período de la estructura desplazada?

El período fundamental de la estructura se desplaza por la adición de aisladores flexibles. El período aislado es generalmente mayor de 2 segundos. Las frecuencias dominantes de un terremoto están en el rango de 0.2 a 0.6 segundos. Las fuertes aceleraciones de un terremoto se evitan debido al cambio del período establecido por el aislamiento (Vea Diagrama 1).



¿Cómo se controla el desplazamiento?

El desplazamiento el aislador se reduce con el incremento de su rigidez o amortiguamiento. El diseño compensatorio es que con el incremento de las fuerzas y aceleraciones, el desplazamiento se reduce.

¿Cómo funciona el beneficio de agregar amortiguamiento de la estructura?

El amortiguamiento absorbe la energía del terremoto. La adición de amortiguamiento reduce los desplazamientos y fuerzas en la superestructura tal como un 50% (Vea Diagrama 2).

¿Cuál es el nivel recomendado de amortiguamiento en un sistema con aisladores?

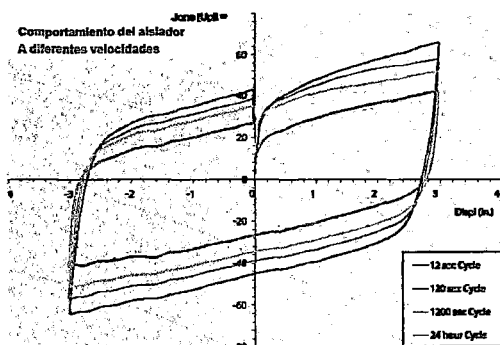
La mayoría de las estructuras tienen entre 2-5% de amortiguamiento inherente. Los sistemas de aislamiento para puentes proporcionan típicamente niveles de amortiguamiento de 15 a 30%. Los sistemas de aislamiento para edificios proporcionan amortiguamiento entre 10 a 20%. Los niveles de amortiguamiento en construcciones están optimizados para proporcionar bajas aceleraciones en la estructura que maximizan la protección de los interiores.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

¿Cuál es la diferencia en el límite de elasticidad del núcleo de plomo cuando se tienen cargas arrastre y cargas sísmicas?

El comportamiento de la histéresis del núcleo de plomo depende de la velocidad de carga. El límite de elasticidad es menor a velocidades de arrastre que a velocidades sísmicas. Esto es beneficioso especialmente en puentes donde el aislador pasa sobre una gama de velocidades. Durante un movimiento sísmico de alta velocidad, el límite de elasticidad oscila entre 10 y 14 MPa, proporcionando niveles significativos de amortiguamiento. Para los movimientos térmicos, el límite de elasticidad oscila entre 4 a 6 MPa, el cual impone pequeños esfuerzos en la estructura. Los valores intermedios de tensión en el núcleo de plomo resisten cargas operacionales tales como el viento y frenado.



¿Se puede aislar un edificio alto?

Los edificios altos como el de 18 pisos de Oakland City Hall en California se han beneficiado de forma aislada. Los edificios normalmente requieren un período aislado de 2.5 a 3 veces el de una edificación no aislada. Hay muchos edificios altos aislados en Japón que tienen un período aislado en el intervalo de 4 a 6 segundos. Los diseñadores eligieron el aislamiento por el mejor desempeño que proporciona.

¿La estructura vuelve a su posición luego de un terremoto?

La estructura vuelve a centrarse después de un terremoto, porque una fuerza de restitución es provista por el caucho. Las características de los movimientos también hacen que la estructura oscile cada vez con menores desplazamientos aproximándose a su posición original, a medida que el movimiento sísmico disminuya. El puente sobre el río Eel en California retornó a 1/4 de pulgada de su posición original luego de un terremoto de magnitud 7.0.

¿Cuál es la respuesta de la componente vertical en un terremoto?

Los aisladores son rígidos en la dirección vertical y no cambian la respuesta sísmica vertical. La componente vertical del terremoto se traduce en variaciones de carga axiales que pueden ser distribuidas entre el diseño de las columnas y los aisladores. Se han realizado ensayos de movimiento con y sin la componente vertical del movimiento sísmico. Los resultados indican que hay muy poca diferencia en el rendimiento de los aisladores.

¿Cuál es la vida útil de los aisladores?

La vida útil normal es mayor de 50 años. Los apoyos elastoméricos en puentes de carreteras han estado en uso durante más de cuatro décadas exhibiendo una buena durabilidad. Se espera que los aisladores con modernas formulaciones de caucho rodeadas por una cubierta protectora de caucho, sean más duraderos y estable en su rendimiento a largo plazo.

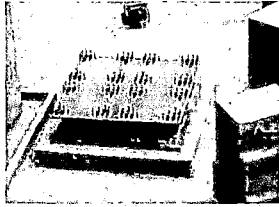
DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

¿Se puede utilizar más de un aislador bajo una columna?

Se han utilizado varios aisladores de este tipo en el City Hall en San Francisco y en el Tan Tzu Medical Center en Taiwán. Se utilizan varios aisladores cuando son más económicos que uno solo más grande.

¿Un aislador puede resistir fuerzas de tracción?

Se puede aplicar un esfuerzo de tracción permisible de hasta 50 psi a un aislador. El esfuerzo real admisible depende del desplazamiento del aislador y el módulo de elasticidad del caucho. En general se evita la tracción en el diseño.



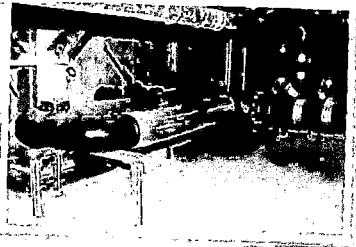
Grupo de cuatro aisladores que están ubicados debajo de columnas con mucha carga en el Centro Medico Tan Tzu.

¿Existe fatiga en el núcleo de plomo?

El plomo se encuentra en su fase elastoplástica a temperatura ambiente. Como con otros metales en esta fase, el plomo se re-cristaliza rápidamente después de haber sido deformado sin presentar fatiga.

¿De qué manera las instalaciones tienen capacidad de movimiento a través del plano de aislamiento en los edificios?

Las instalaciones que cruzan el plano de aislamiento sísmico deben estar acondicionados para moverse horizontalmente. A menudo son fabricados para ser flexibles o están equipados con juntas universales.



¿Cómo se acondicionan las escaleras?

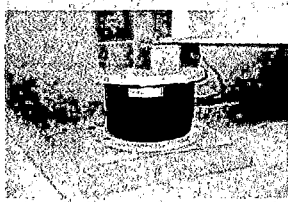
Las escaleras y los puntos de acceso son acondicionadas para ser fijadas a la superestructura y están "simplemente apoyadas" en la estructura por debajo de los aisladores; a veces se utilizan deslizadores pequeños para apoyar las escaleras y permitir movimientos laterales.

¿Cómo se acondicionan los ascensores?

La parte inferior del ascensor está suspendida de la superestructura del edificio. La caja inferior no está soportada por la subestructura. Alternativamente, el plano de aislamiento puede descenderse varios metros por la zona para permitir que la caja del ascensor sea aislado como parte de la superestructura o en algunos casos se puede usar deslizadores para este propósito.

¿Qué tipo de protección contra incendios se necesita para los aisladores sísmicos?

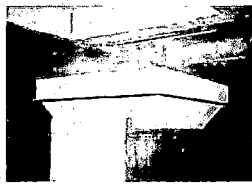
La protección contra incendios está determinada por los requerimientos de protección al fuego para el área, mas no por los materiales del que está fabricado el aislador. Cuando los aisladores se encuentran en áreas de la estructura sin riesgo de incendios, no se requiere protección contra incendios. Cuando se ha requerido de protección contra incendios, entonces se han utilizado rociadores, pulverizadores de fibra mineral, mantas ignífugas y cajas cortafuego.



Aisladores en el Long Beach 911 Center no requiere protección contra el fuego.



Se utilizaron mantas ignífugas en el Channing House



Caja Flexible cortafuego en el aislador en Condominio Kamikuzawa.



Anexo C

1. Espectros sísmicos Utilizados

1.- ESPECTRO SISMICO MULTIPLICADO POR LA GRAVEDAD

T(seg)	LIMA1951X	LIMA1951Y	LIMA1966X	LIMA1966Y	LIMA1970X	LIMA1970Y	CHIMB1970X	CHIMB1970Y	LIMA1971X	LIMA1971Y	LIMA1974X	LIMA1974Y	OCO 2001X	OCO 2001Y	AREQ2005X	AREQ2005Y	MOYO2005X	MOYO2005Y	PISCO2007X	PISCO2007Y
0.01	56.85	85.18	191.89	207.52	203.60	200.23	203.59	203.59	111.80	74.45	180.80	207.82	210.68	210.68	100.50	104.34	206.67	210.59	208.87	210.98
0.11	180.00	260.67	597.41	568.13	544.02	493.09	544.01	544.01	264.18	187.45	567.55	450.98	361.08	361.08	314.35	260.88	266.00	343.75	267.90	329.71
0.21	83.03	105.21	662.19	414.45	357.29	736.67	357.33	357.33	273.87	114.36	475.61	432.45	363.90	363.90	188.52	279.73	491.70	470.36	458.33	349.80
0.32	84.10	130.51	517.89	501.97	584.43	418.05	584.48	584.48	338.99	149.34	506.63	504.08	379.16	379.16	169.66	147.54	454.71	436.59	472.59	500.13
0.42	34.26	68.62	347.56	393.28	352.74	426.90	352.67	352.67	183.97	106.45	429.05	403.21	459.86	459.86	120.16	144.70	352.54	614.05	532.97	655.90
0.52	23.33	38.49	285.45	321.91	236.77	243.27	236.75	236.75	132.10	86.13	347.24	270.69	396.87	396.87	134.38	146.10	262.47	584.32	446.54	725.22
0.62	32.62	37.28	280.60	181.55	235.55	234.96	235.54	235.54	147.67	63.63	336.23	224.56	473.48	473.48	88.88	63.35	311.78	634.22	513.49	584.73
0.72	34.40	38.49	160.34	156.23	268.41	304.55	268.34	268.34	162.92	61.79	292.38	167.62	469.06	469.06	64.70	44.41	229.48	407.52	701.56	405.05
0.82	29.06	27.63	118.71	123.69	177.45	258.50	177.39	177.39	107.23	63.62	204.54	115.93	398.55	398.55	63.22	57.25	205.20	281.05	478.53	256.19
0.93	19.89	24.13	112.85	124.82	107.48	159.50	107.48	107.48	68.31	42.67	157.63	96.83	489.93	489.93	60.48	45.03	241.88	291.70	388.05	222.51
1.03	17.16	20.77	92.27	77.62	109.73	121.47	109.73	109.73	53.77	33.49	148.14	84.04	324.57	324.57	34.30	30.26	264.97	375.57	446.50	290.05
1.13	17.27	16.55	71.48	55.00	100.54	83.71	100.54	100.54	58.19	27.10	128.78	77.63	233.62	233.62	25.35	26.76	284.04	354.71	457.60	198.92
1.23	14.68	17.05	46.63	42.03	84.60	66.64	84.43	84.43	51.62	23.42	108.22	64.96	251.41	251.41	25.89	22.61	273.26	334.21	327.78	203.48
1.33	13.11	14.78	45.82	49.20	90.21	63.34	90.17	90.17	53.34	20.21	108.26	60.23	190.15	190.15	21.41	16.60	295.61	292.14	213.50	220.05
1.44	12.93	11.26	66.55	43.36	68.22	53.26	68.26	68.26	36.28	16.07	98.00	53.83	108.19	108.19	20.22	15.15	304.14	223.85	230.19	232.74
1.54	11.90	9.70	55.08	45.22	54.56	39.47	54.57	54.57	52.55	13.90	75.99	41.78	93.52	93.52	19.16	15.09	204.72	159.59	250.22	253.71
1.64	11.98	8.39	37.51	43.48	53.45	40.37	53.43	53.43	50.12	14.15	78.39	43.75	110.19	110.19	18.61	12.53	125.56	134.05	240.71	193.44
1.74	12.01	8.37	34.97	39.70	41.93	46.26	41.94	41.94	46.54	14.97	86.14	41.18	89.64	89.64	12.66	10.42	97.79	140.03	211.40	178.38
1.84	11.59	7.87	31.69	37.59	39.20	44.76	39.20	39.20	44.75	15.15	76.30	35.58	73.56	73.56	9.65	10.84	94.76	159.74	272.39	160.97
1.94	10.88	7.08	33.44	33.04	40.04	43.52	40.06	40.06	39.95	15.00	56.51	33.09	61.93	61.93	8.52	10.77	103.89	155.97	305.23	140.82
2.05	10.26	7.40	38.56	33.92	43.05	43.79	43.06	43.06	33.23	14.44	44.30	33.50	71.12	71.12	7.66	9.73	99.85	138.02	265.39	158.17
2.15	9.64	8.41	36.05	39.15	50.64	36.64	50.61	50.61	26.06	14.74	50.59	29.02	71.33	71.33	7.03	6.80	100.73	116.04	201.70	160.59
2.25	9.16	8.75	32.66	43.11	45.07	33.78	45.06	45.06	21.96	14.30	55.21	24.94	67.76	67.76	6.44	7.15	107.97	97.41	183.49	149.68
2.35	8.75	8.62	29.61	45.82	35.04	26.27	35.05	35.05	19.72	13.53	54.66	24.10	61.33	61.33	5.72	6.69	107.84	89.02	194.02	151.26
2.45	9.32	8.10	23.59	46.94	32.15	22.80	32.18	32.18	18.24	12.82	46.69	24.88	53.49	53.49	5.23	6.99	94.46	78.00	186.12	179.06
2.56	10.33	7.39	21.22	47.91	29.69	21.77	29.68	29.68	16.68	11.36	41.38	24.68	52.73	52.73	5.77	6.53	78.86	65.21	149.20	218.84
2.66	10.88	6.96	21.34	47.99	24.55	22.56	24.54	24.54	14.92	9.92	37.08	23.39	59.21	59.21	6.18	7.13	69.20	53.29	138.89	256.66
2.76	11.04	6.46	22.57	46.26	25.04	23.33	25.02	25.02	17.14	9.40	30.63	21.65	58.56	58.56	6.04	6.57	67.10	49.74	146.64	283.56
2.86	10.79	5.87	23.63	46.36	24.64	23.17	24.59	24.59	18.31	10.08	26.45	19.20	57.42	57.42	5.74	5.97	66.44	46.90	147.51	298.73
2.96	10.62	5.54	24.34	45.07	22.42	22.37	22.36	22.36	18.61	10.05	25.45	17.19	57.17	57.17	5.90	5.19	65.88	42.72	134.33	302.19
3.07	10.30	5.40	28.70	41.90	19.96	24.05	19.90	19.90	17.59	9.39	24.60	16.49	51.64	51.64	6.31	4.33	65.84	37.53	144.79	291.82
3.17	10.02	4.90	32.02	38.20	17.28	24.12	17.24	17.24	15.83	8.94	23.57	17.02	48.15	48.15	5.75	3.91	66.72	32.19	147.55	273.03
3.27	9.44	4.58	33.92	35.27	14.37	28.11	14.38	14.38	15.54	8.95	22.45	17.15	42.82	42.82	4.86	3.64	69.15	31.86	138.66	255.36
3.37	9.15	4.62	34.72	32.85	13.33	31.31	13.30	13.30	16.23	8.39	21.49	16.89	36.40	36.40	4.39	3.48	73.09	31.43	124.24	239.71
3.47	8.75	5.22	35.49	30.85	14.46	30.85	14.45	14.45	16.80	8.57	20.90	16.87	31.52	31.52	3.76	2.91	77.85	31.11	108.05	222.58
3.57	8.27	5.34	34.52	29.43	15.16	28.06	15.17	15.17	17.23	8.87	20.82	16.99	27.37	27.37	3.21	2.59	83.24	32.43	92.84	203.75
3.68	7.83	5.05	33.68	28.32	15.57	24.23	15.59	15.59	17.51	8.83	22.80	17.13	23.30	23.30	3.04	2.57	86.68	33.99	82.83	184.01
3.78	7.32	4.54	31.71	26.89	16.10	20.44	16.12	16.12	17.85	8.68	24.45	17.24	19.68	19.68	2.98	2.87	87.39	35.34	74.87	163.65
3.88	6.77	3.92	28.86	25.63	17.90	17.94	17.92	17.92	18.14	8.80	25.05	17.33	17.24	17.24	2.94	2.87	85.70	36.35	68.12	148.58
3.98	6.30	3.36	25.52	25.30	20.13	16.57	20.14	20.14	18.29	9.01	25.48	17.36	16.63	16.63	2.90	2.78	81.96	36.98	62.01	134.52
4.08	6.72	3.09	21.96	24.33	20.32	14.86	20.31	20.31	18.40	9.11	26.92	17.26	16.94	16.94	3.15	2.75	77.13	37.12	56.37	120.71
4.19	6.93	2.88	19.80	23.67	19.20	12.97	19.19	19.19	18.45	8.65	27.11	19.28	17.19	17.19	3.43	2.71	71.19	36.58	51.12	108.11
4.29	6.86	2.74	17.57	23.06	16.59	11.13	16.57	16.57	18.45	7.84	25.69	20.69	16.90	16.90	3.37	2.59	64.83	35.30	46.20	96.69
4.39	6.60	2.85	16.16	21.84	13.58	9.66	13.57	13.57	18.38	8.24	25.50	21.50	17.18	17.18	3.39	2.41	58.52	33.83	41.46	85.95
4.49	6.14	3.02	14.97	20.65	11.25	8.62	11.25	11.25	18.21	7.77	25.14	21.16	17.64	17.64	3.06	2.27	54.81	32.59	39.24	78.61
4.59	5.56	3.31	13.94	19.78	10.90	8.01	10.89	10.89	18.04	7.18	24.98	21.01	17.52	17.52	2.83	2.16	50.88	30.86	37.93	71.72
4.69	5.51	3.66	13.14	18.85	11.38	7.70	11.38	11.38	18.34	6.95	24.45	20.87	16.85	16.85	2.65	2.05	47.08	28.90	36.40	65.38
4.80	5.79	4.02	12.61	17.87	12.00	7.47	12.01	12.01	18.48	6.44	23.88	19.71	15.76	15.76	2.39	1.90	43.48	26.92	34.53	59.63
4.90	5.84	4.29	12.28	17.01	12.66	7.23	12.67	12.67	18.59	6.19	23.22	17.78	14.35	14.35	2.22	1.88	40.15	25.01	32.26	54.48
5.00	5.80	4.51	12.09	16.35	12.94	6.91	12.95	12.95	18.49	6.66	22.38	15.70	13.38	13.38	2.16	1.93	37.35	23.38	29.61	50.11

2.- ESPECTRO SÍSMICO DIVIDIDO POR LA GRAVEDAD

T(seg)	LIMA1951X	LIMA1951Y	LIMA1966X	LIMA1966Y	LIMA1970X	LIMA1970Y	CHIMB1970X	CHIMB1970Y	LIMA1971X	LIMA1971Y	LIMA1974X	LIMA1974Y	OCO 2001X	OCO 2001Y	AREQ2005X	AREQ2005Y	MOYO2005X	MOYO2005Y	PISCO2007X	PISCO2007Y
0.01	0.0580	0.0868	0.1956	0.2115	0.2075	0.2041	0.2075	0.2075	0.1140	0.0759	0.1843	0.2118	0.2148	0.2148	0.1024	0.1064	0.2107	0.2147	0.2129	0.2151
0.11	0.1835	0.2657	0.6090	0.5791	0.5546	0.5026	0.5545	0.5545	0.2693	0.1911	0.5785	0.4597	0.3681	0.3681	0.3204	0.2659	0.2712	0.3504	0.2731	0.3361
0.21	0.0846	0.1072	0.6750	0.4225	0.3642	0.7509	0.3643	0.3643	0.2792	0.1166	0.4848	0.4408	0.3709	0.3709	0.1922	0.2851	0.5012	0.4795	0.4672	0.3566
0.32	0.0857	0.1330	0.5279	0.5117	0.5957	0.4261	0.5958	0.5958	0.3456	0.1522	0.5164	0.5138	0.3865	0.3865	0.1729	0.1504	0.4635	0.4450	0.4817	0.5098
0.42	0.0349	0.0700	0.3543	0.4009	0.3596	0.4352	0.3595	0.3595	0.1875	0.1085	0.4374	0.4110	0.4688	0.4688	0.1225	0.1475	0.3594	0.6259	0.5433	0.6686
0.52	0.0238	0.0392	0.2910	0.3281	0.2414	0.2480	0.2413	0.2413	0.1347	0.0878	0.3540	0.2789	0.4046	0.4046	0.1370	0.1489	0.2676	0.5956	0.4552	0.7393
0.62	0.0333	0.0380	0.2860	0.1851	0.2401	0.2395	0.2401	0.2401	0.1505	0.0649	0.3427	0.2289	0.4827	0.4827	0.0906	0.0646	0.3178	0.6465	0.5234	0.5961
0.72	0.0351	0.0392	0.1634	0.1593	0.2736	0.3104	0.2735	0.2735	0.1661	0.0630	0.2980	0.1709	0.4781	0.4781	0.0660	0.0453	0.2339	0.4154	0.7151	0.4129
0.82	0.0296	0.0282	0.1210	0.1261	0.1809	0.2635	0.1808	0.1808	0.1093	0.0549	0.2085	0.1182	0.4063	0.4063	0.0544	0.0584	0.2092	0.2865	0.4878	0.3019
0.93	0.0203	0.0246	0.1150	0.1272	0.1096	0.1626	0.1096	0.1096	0.0696	0.0435	0.1607	0.0987	0.4994	0.4994	0.0517	0.0459	0.2466	0.2973	0.3956	0.2272
1.03	0.0175	0.0212	0.0941	0.0791	0.1119	0.1238	0.1119	0.1119	0.0548	0.0341	0.1510	0.0857	0.3309	0.3309	0.0350	0.0308	0.2701	0.3828	0.4551	0.2957
1.13	0.0176	0.0169	0.0729	0.0561	0.1025	0.0853	0.1025	0.1025	0.0593	0.0276	0.1313	0.0791	0.2381	0.2381	0.0258	0.0273	0.2895	0.3616	0.4665	0.2028
1.23	0.0150	0.0174	0.0475	0.0428	0.0862	0.0679	0.0861	0.0861	0.0526	0.0239	0.1103	0.0662	0.2563	0.2563	0.0264	0.0230	0.2786	0.3407	0.3341	0.2074
1.33	0.0134	0.0151	0.0467	0.0501	0.0920	0.0646	0.0919	0.0919	0.0544	0.0206	0.1104	0.0614	0.1938	0.1938	0.0218	0.0169	0.3013	0.2978	0.2176	0.2243
1.44	0.0132	0.0115	0.0678	0.0442	0.0695	0.0543	0.0696	0.0696	0.0574	0.0164	0.0999	0.0549	0.1103	0.1103	0.0206	0.0154	0.3100	0.2282	0.2346	0.2372
1.54	0.0121	0.0099	0.0561	0.0461	0.0556	0.0402	0.0556	0.0556	0.0536	0.0142	0.0775	0.0426	0.0953	0.0953	0.0195	0.0154	0.2087	0.1627	0.2551	0.2586
1.64	0.0122	0.0086	0.0382	0.0443	0.0545	0.0412	0.0545	0.0545	0.0511	0.0144	0.0799	0.0446	0.1123	0.1123	0.0190	0.0128	0.1280	0.1366	0.2454	0.1972
1.74	0.0122	0.0085	0.0356	0.0405	0.0427	0.0472	0.0428	0.0428	0.0474	0.0153	0.0878	0.0420	0.0914	0.0914	0.0129	0.0106	0.0997	0.1427	0.2155	0.1818
1.84	0.0118	0.0080	0.0323	0.0383	0.0400	0.0456	0.0400	0.0400	0.0456	0.0154	0.0778	0.0363	0.0750	0.0750	0.0098	0.0111	0.0966	0.1628	0.2777	0.1641
1.94	0.0111	0.0072	0.0341	0.0337	0.0408	0.0444	0.0408	0.0408	0.0407	0.0153	0.0576	0.0337	0.0631	0.0631	0.0087	0.0110	0.1059	0.1590	0.3111	0.1435
2.05	0.0105	0.0075	0.0393	0.0346	0.0439	0.0446	0.0439	0.0439	0.0439	0.0147	0.0452	0.0341	0.0725	0.0725	0.0078	0.0099	0.1018	0.1407	0.2705	0.1612
2.15	0.0098	0.0086	0.0367	0.0399	0.0516	0.0373	0.0516	0.0516	0.0266	0.0150	0.0516	0.0296	0.0727	0.0727	0.0072	0.0069	0.1027	0.1183	0.2056	0.1641
2.25	0.0093	0.0089	0.0333	0.0439	0.0459	0.0344	0.0459	0.0459	0.0224	0.0146	0.0563	0.0254	0.0691	0.0691	0.0066	0.0073	0.1101	0.0993	0.1870	0.1526
2.35	0.0089	0.0088	0.0302	0.0467	0.0357	0.0268	0.0357	0.0357	0.0201	0.0138	0.0557	0.0246	0.0625	0.0625	0.0058	0.0068	0.1099	0.0907	0.1978	0.1542
2.45	0.0095	0.0083	0.0240	0.0479	0.0328	0.0232	0.0328	0.0328	0.0186	0.0131	0.0476	0.0254	0.0545	0.0545	0.0053	0.0071	0.0963	0.0795	0.1897	0.1825
2.56	0.0105	0.0075	0.0216	0.0488	0.0303	0.0222	0.0303	0.0303	0.0170	0.0116	0.0422	0.0252	0.0537	0.0537	0.0059	0.0067	0.0804	0.0665	0.1521	0.2231
2.66	0.0111	0.0071	0.0218	0.0489	0.0250	0.0230	0.0250	0.0250	0.0152	0.0101	0.0378	0.0238	0.0604	0.0604	0.0063	0.0073	0.0705	0.0543	0.1416	0.2616
2.76	0.0113	0.0066	0.0230	0.0472	0.0255	0.0238	0.0255	0.0255	0.0175	0.0096	0.0312	0.0221	0.0597	0.0597	0.0062	0.0067	0.0684	0.0507	0.1495	0.2891
2.86	0.0110	0.0060	0.0241	0.0473	0.0251	0.0236	0.0251	0.0251	0.0187	0.0103	0.0270	0.0196	0.0585	0.0585	0.0058	0.0061	0.0677	0.0478	0.1504	0.3045
2.96	0.0108	0.0056	0.0248	0.0459	0.0229	0.0228	0.0228	0.0228	0.0190	0.0102	0.0259	0.0175	0.0583	0.0583	0.0060	0.0053	0.0672	0.0435	0.1369	0.3080
3.07	0.0105	0.0055	0.0293	0.0427	0.0203	0.0245	0.0203	0.0203	0.0179	0.0096	0.0251	0.0168	0.0526	0.0526	0.0064	0.0044	0.0671	0.0383	0.1476	0.2975
3.17	0.0102	0.0050	0.0326	0.0389	0.0176	0.0246	0.0176	0.0176	0.0161	0.0091	0.0240	0.0173	0.0491	0.0491	0.0059	0.0040	0.0680	0.0328	0.1504	0.2783
3.27	0.0096	0.0047	0.0346	0.0360	0.0147	0.0287	0.0147	0.0147	0.0158	0.0091	0.0229	0.0175	0.0436	0.0436	0.0050	0.0037	0.0705	0.0325	0.1413	0.2603
3.37	0.0093	0.0047	0.0354	0.0335	0.0136	0.0319	0.0136	0.0136	0.0165	0.0086	0.0219	0.0172	0.0371	0.0371	0.0045	0.0036	0.0745	0.0320	0.1266	0.2444
3.47	0.0089	0.0053	0.0362	0.0314	0.0147	0.0314	0.0147	0.0147	0.0171	0.0087	0.0213	0.0172	0.0321	0.0321	0.0038	0.0030	0.0794	0.0317	0.1101	0.2269
3.57	0.0084	0.0054	0.0352	0.0300	0.0155	0.0286	0.0155	0.0155	0.0176	0.0090	0.0212	0.0173	0.0279	0.0279	0.0033	0.0026	0.0849	0.0331	0.0946	0.2077
3.68	0.0080	0.0051	0.0343	0.0289	0.0159	0.0247	0.0159	0.0159	0.0179	0.0090	0.0232	0.0175	0.0238	0.0238	0.0031	0.0026	0.0884	0.0346	0.0844	0.1876
3.78	0.0075	0.0046	0.0323	0.0274	0.0164	0.0208	0.0164	0.0164	0.0182	0.0088	0.0249	0.0176	0.0201	0.0201	0.0030	0.0029	0.0891	0.0360	0.0763	0.1668
3.88	0.0069	0.0040	0.0294	0.0261	0.0182	0.0183	0.0183	0.0183	0.0185	0.0090	0.0255	0.0177	0.0176	0.0176	0.0030	0.0029	0.0874	0.0371	0.0694	0.1515
3.98	0.0064	0.0034	0.0260	0.0258	0.0205	0.0169	0.0205	0.0205	0.0186	0.0092	0.0260	0.0177	0.0170	0.0170	0.0030	0.0028	0.0835	0.0377	0.0632	0.1371
4.08	0.0068	0.0031	0.0224	0.0248	0.0207	0.0151	0.0207	0.0207	0.0188	0.0093	0.0274	0.0176	0.0173	0.0173	0.0032	0.0028	0.0785	0.0378	0.0575	0.1230
4.19	0.0071	0.0029	0.0202	0.0241	0.0196	0.0132	0.0196	0.0196	0.0188	0.0088	0.0276	0.0196	0.0175	0.0175	0.0035	0.0028	0.0726	0.0373	0.0521	0.1102
4.29	0.0070	0.0028	0.0179	0.0235	0.0169	0.0113	0.0169	0.0169	0.0188	0.0080	0.0262	0.0211	0.0172	0.0172	0.0034	0.0026	0.0661	0.0360	0.0471	0.0986
4.39	0.0067	0.0029	0.0165	0.0223	0.0138	0.0099	0.0138	0.0138	0.0187	0.0084	0.0260	0.0219	0.0175	0.0175	0.0035	0.0025	0.0597	0.0345	0.0423	0.0876
4.49	0.0063	0.0031	0.0153	0.0211	0.0115	0.0088	0.0115	0.0115	0.0186	0.0079	0.0256	0.0216	0.0180	0.0180	0.0031	0.0023	0.0559	0.0332	0.0400	0.0801
4.59	0.0057	0.0034	0.0142	0.0202	0.0111	0.0082	0.0111	0.0111	0.0184	0.0073	0.0255	0.0214	0.0179	0.0179	0.0029	0.0022	0.0519	0.0315	0.0387	0.0731
4.69	0.0056	0.0037	0.0134	0.0192	0.0116	0.0078	0.0116	0.0116	0.0187	0.0071	0.0249	0.0213	0.0172	0.0172	0.0027	0.0021	0.0480	0.0295	0.0371	0.0666
4.80	0.0059	0.0041	0.0129	0.0182	0.0122	0.0076	0.0122	0.0122	0.0188	0.0066	0.0243	0.0201	0.0161	0.0161	0.0024	0.0019	0.0443	0.0274	0.0352	0.0608
4.90	0.0059	0.0044	0.0125	0.0173	0.0129	0.0074	0.0129	0.0129	0.0189	0.0063	0.0237	0.0181	0.0146	0.0146	0.0023	0.0019	0.0409	0.0255	0.0329	0.0555
5.00	0.0059	0.0046	0.0123	0.0167	0.0132	0.0070	0.0132	0.0132	0.0188	0.0068	0.0228	0.0160	0.0136	0.0136	0.0022	0.0020	0.0381	0.0238	0.0302	0.0511

Anexo D

1. Metrados para Comparación de Precios

1.1. Metrados de Estructura Convencional

1.2. Metrados de Estructura Aislada

INGENIERIA CIVIL

UNSCHE



HOJA DE METRADOS

PROYECTO: TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA

SUB PROY: ESTRUCTURA CONVENCIONAL

TITULO: ESTRUCTURAS

FECHA: 06-2015

ITEM	ESPECIFICACION	U	CNT.	MEDIDAS			PARC.	TOTAL X UND	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO			
01	ESTRUCTURA CONVENCIONAL								
01 .01	TRABAJOS PRELIMINARES								
01 .01 .01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2							879.00
	Area autocad		1.00	879.00			879.00	879.00	
01 .01 .02	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO	m2							879.00
	Area autocad		1.00	879.00			879.00	879.00	
01 .02	MOVIMIENTO DE TIERRAS								
01 .02 .01	CORTE SUPERFICIAL MANUAL HASTA 0.20 MT	m3							137.60
			1.00	688.00	0.20		137.60	137.60	
01 .02 .02	EXCAVACION PARA ZAPATAS Y ZANJAS	m3							289.94
	Zapatas								
	z1		4.00	1.80	1.80	1.05	13.61	13.61	
	z2		5.00	2.35	2.35	1.05	28.99	28.99	
	z3		5.00	1.85	1.85	1.05	17.97	17.97	
	z4		5.00	2.85	2.85	1.05	42.64	42.64	
	z5		2.00	2.40	2.40	1.05	12.10	12.10	
	z6		3.00	1.60	1.25	1.05	6.30	6.30	
	z7		1.00	1.75	1.40	1.05	2.57	2.57	
	z8		3.00	1.05	1.40	1.05	4.63	4.63	
	z9		2.00	1.70	1.70	1.05	6.07	6.07	
	Cimientos corridos								
	Total cimientos		1.00	198.80	0.60	1.30	155.06	155.06	
01 .02 .03	RELLENO Y COMP. MANUAL- MAT. DE PRESTAMO	m3							24.65
	Relleño		1.00	0.12	198.80		24.65	24.65	
01 .02 .04	ELIMINACION DE EXCESO DE CORTE CON VOLQUETE, CARGUIO A MANO	m3							318.35
	Excavacion		1.00	289.94		1.20	318.35	318.35	
	Relleño		1.00	24.65					
01 .03	CONCRETO SIMPLE								
01 .03 .01	CIMENTOS CORRIDOS MEZCLA 1:10 CEMENTO- HORMIGON 30% PIEDRA	m3							63.62
	Cimientos corridos		1.00	198.80	0.40	0.80	63.62	63.62	
01 .03 .02	ENCOFRADO Y DESENCOF. DE SOBRECIMIENTO	m2							357.84
	Encofrado de sobrecimiento		2.00	0.90	198.80		357.84	357.84	
01 .03 .03	CONCRETO EN SOBRECIMIENTO 1:8(C:H)+25% P	m3							37.57
	Sobrecimiento e=15 cm		1.00	79.52	0.15	0.90	10.74	10.74	
	Sobrecimiento e=25 cm		1.00	119.28	0.25	0.90	26.84	26.84	
01 .03 .04	SOLADO DE CONCRETO 1:12 (e=10 cm.)	m2							128.46
	z1		4.00	1.80	1.80		12.96	12.96	
	z2		5.00	2.35	2.35		27.61	27.61	
	z3		5.00	1.85	1.85		17.11	17.11	
	z4		5.00	2.85	2.85		40.61	40.61	
	z5		2.00	2.40	2.40		11.52	11.52	
	z6		3.00	1.60	1.25		6.00	6.00	
	z7		1.00	1.75	1.40		2.45	2.45	
	z8		3.00	1.05	1.40		4.41	4.41	
	z9		2.00	1.70	1.70		5.78	5.78	
01 .04	CONCRETO ARMADO								
01 .04 .01	CONCRETO FC=210 KG/CM2 EN ZAPATAS	m3							77.07
	z1		4.00	1.80	1.80	0.60	7.78	7.78	
	z2		5.00	2.35	2.35	0.60	16.57	16.57	
	z3		5.00	1.85	1.85	0.60	10.27	10.27	
	z4		5.00	2.85	2.85	0.60	24.37	24.37	
	z5		2.00	2.40	2.40	0.60	6.91	6.91	
	z6		3.00	1.60	1.25	0.60	3.60	3.60	
	z7		1.00	1.75	1.40	0.60	1.47	1.47	
	z8		3.00	1.05	1.40	0.60	2.65	2.65	
	z9		2.00	1.70	1.70	0.60	3.47	3.47	
01 .04 .02	ACERO GRADO 60 EN ZAPATAS	kg							1349.07
	Acero en zapatas		1.00	1349.07			1349.07	1349.07	

INGENIERIA CIVIL

UNSC



HOJA DE METRADOS

PROYECTO: TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA

SUB PROY: ESTRUCTURA CONVENCIONAL

TITULO: ESTRUCTURAS

FECHA: 04-2015

ITEM	ESPECIFICACION	U	CNT.	MEDIDAS			PARC.	TOTAL X UND	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO			
01 .04 .03	CONCRETO F'C=210 KG/CM2. PARA COLUMNAS	m3							135.63
	C1		5.00	Area:	0.38	15.60	29.25	29.25	
	C2		2.00	Area:	0.29	15.60	9.05	9.05	
	C3		5.00	Area:	0.38	18.65	34.97	34.97	
	C4		2.00	Area:	0.29	18.65	10.82	10.82	
	C5		5.00	Area:	0.38	16.35	30.66	30.66	
	C6		2.00	Area:	0.29	16.35	9.48	9.48	
	C7		9.00	Area:	0.15	8.45	11.41	11.41	
01 .04 .04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA EN COLUMNAS	m2							1066.52
	C1		5.00	Long:	3.50	12.80	224.00	224.00	
	C2		2.00	Long:	2.80	12.80	71.68	71.68	
	C3		5.00	Long:	3.50	15.15	265.13	265.13	
	C4		2.00	Long:	2.80	15.15	84.84	84.84	
	C5		5.00	Long:	3.50	13.55	237.13	237.13	
	C6		2.00	Long:	2.80	13.55	75.88	75.88	
	C7		9.00	Long:	1.70	7.05	107.87	107.87	
01 .04 .05	ACERO GRADO 60 EN COLUMNAS	kg							41690.69
	Armadura columnas		1.00	41690.69			41690.69	41690.69	
01 .04 .06	CONCRETO EN VIGAS F'C=210 KG/CM2	m3							142.55
	Vigas secundarias								
	Primera planta								
	V-101		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-102		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-103		1.00	41.50	0.25	0.45	4.67	4.67	
	V-104		1.00	41.50	0.25	0.45	4.67	4.67	
	Segunda planta								
	V-201		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-202		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-203		1.00	41.50	0.25	0.45	4.67	4.67	
	V-204		1.00	41.50	0.25	0.45	4.67	4.67	
	Tercera planta								
	V-301		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-302		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-303		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-304		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	Cuarta planta								
	V-401		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-402		2.00	36.30	0.25	0.45	8.17	8.17	
	V-403		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	V-404		1.00	36.30	0.25	0.45	4.08	4.08	
	Vigas principales								
	Primera planta								
	V-106		2.00	17.25	0.25	0.60	5.18	5.18	
	V-107		2.00	19.35	0.25	0.60	5.81	5.81	
	V-108		1.00	19.35	0.25	0.60	2.90	2.90	
	V-109		2.00	17.25	0.25	0.60	5.18	5.18	
	V-112		1.00	4.25	0.25	0.60	0.64	0.64	
	Segunda planta								
	V-206		2.00	17.25	0.25	0.60	5.18	5.18	
	V-207		2.00	19.35	0.25	0.60	5.81	5.81	
	V-208		1.00	19.35	0.25	0.60	2.90	2.90	
	V-209		2.00	17.25	0.25	0.60	5.18	5.18	
	V-212		1.00	4.25	0.25	0.60	0.64	0.64	
	Tercera planta								
	V-306		2.00	15.40	0.25	0.60	4.62	4.62	
	V-307		5.00	15.40	0.25	0.60	11.55	11.55	
	Cuarta planta								
	V-406		2.00	14.50	0.25	0.60	4.35	4.35	
	V-407		5.00	14.50	0.25	0.60	10.88	10.88	

INGENIERIA CIVIL

UNSC



HOJA DE METRADOS

PROYECTO: TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA

SUB PROY: ESTRUCTURA CONVENCIONAL

TÍTULO: ESTRUCTURAS

FECHA: 04-2015

ITEM	ESPECIFICACION	U	CNT.	MEDIDAS			PARC.	TOTAL X UND	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO			
01 .04 .07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA EN VIGAS	m2							1234.77
	Vigas secundarias								
	Primera planta								
	V-101		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-102		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-103		1.00	41.50	Long	0.90	37.35	37.35	
	V-104		1.00	41.50	Long	0.90	37.35	37.35	
	Segunda planta								
	V-201		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-202		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-203		1.00	41.50	Long	0.90	37.35	37.35	
	V-204		1.00	41.50	Long	0.90	37.35	37.35	
	Tercera planta								
	V-301		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-302		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-303		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-304		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	Cuarta planta								
	V-401		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-402		2.00	36.30	Long	0.90	65.34	65.34	
	V-403		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	V-404		1.00	36.30	Long	0.90	32.67	32.67	
	Vigas principales								
	Primera planta								
	V-106		2.00	17.25	Long	1.40	48.30	48.30	
	V-107		2.00	19.35	Long	1.40	54.18	54.18	
	V-108		1.00	19.35	Long	1.40	27.09	27.09	
	V-109		2.00	17.25	Long	1.40	48.30	48.30	
	V-112		1.00	4.25	Long	1.40	5.95	5.95	
	Segunda planta								
	V-206		2.00	17.25	Long	1.40	48.30	48.30	
	V-207		2.00	19.35	Long	1.40	54.18	54.18	
	V-208		1.00	19.35	Long	1.40	27.09	27.09	
	V-209		2.00	17.25	Long	1.40	48.30	48.30	
	V-212		1.00	4.25	Long	1.40	5.95	5.95	
	Tercera planta								
	V-306		2.00	15.40	Long	1.40	43.12	43.12	
	V-307		5.00	15.40	Long	1.40	107.80	107.80	
	Cuarta planta								
	V-406		2.00	14.50	Long	1.40	40.60	40.60	
	V-407		5.00	14.50	Long	1.40	101.50	101.50	
01 .04 .08	ACERO GRADO 60 EN VIGAS	kg							25357.02
	Armadura vigas		1.00	25357.02			25357.02	25357.02	
01 .04 .09	CONCRETO EN LOSAS ALIGERADAS F'C=210 KG/CM2	m3							236.38
	Primer piso		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Segundo piso		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Tercer piso		1.00	Area:	587.00	0.09	52.83	52.83	
	Cuarto piso techo inclinado		1.00	36.30	16.90	0.09	55.21	55.21	
01 .04 .10	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL EN LOSAS ALIGERADAS	m2							236.38
	Primer piso		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Segundo piso		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Tercer piso		1.00	Area:	587.00	0.09	52.83	52.83	
	Cuarto piso techo inclinado		1.00	36.30	16.90	0.09	55.21	55.21	
01 .04 .11	ACERO GRADO 60 EN LOSAS ALIGERADAS	kg							4686.58
	Acero losa		1.00	4686.58			4686.58	4686.58	

INGENIERIA CIVIL
UNSC



HOJA DE METRADOS

PROYECTO: TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA
SUB PROY: ESTRUCTURA CONVENCIONAL
TÍTULO: ESTRUCTURAS
FECHA: 04-2015

ITEM	ESPECIFICACION	U	CNT.	MEDIDAS			PARC.	TOTAL X UND	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO			
01 .04 .12	VIGUETA V-103 PRETENSADA	m							4439.20
	Primera planta		1.00	8.00	41.50		332.00	332.00	
			1.00	24.00	36.30		871.20	871.20	
	Segunda planta		1.00	8.00	41.50		332.00	332.00	
			1.00	24.00	36.30		871.20	871.20	
	Tercera planta		1.00	28.00	36.30		1016.40	1016.40	
	Cuarta planta		1.00	28.00	36.30		1016.40	1016.40	

INGENIERIA CIVIL

UNSC



HOJA DE METRADOS

PROYECTO: TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA

SUS PROY: ESTRUCTURA AISLADA

TITULO: ESTRUCTURAS

FECHA: 04-2015

ITEM	ESPECIFICACION	U	CANT.	MEDIDAS			PARC.	TOTAL X UND	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO			
02	ESTRUCTURA AISLADA								
02 .01	TRABAJOS PRELIMINARES								
02 .01 .01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2							879.00
	Area autocad		1.00	879.00			879.00	879.00	
02 .01 .02	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO	m2							879.00
	Area autocad		1.00	879.00			879.00	879.00	
02 .02	MOVIMIENTO DE TIERRAS								
02 .02 .01	EXCAVACION MASIVA A MAQUINA EN TERRENO SEMIROCOSO/RETRO .5Y3	m3							
	Volumen a excavar por debajo de la edificacion		1.00	Area	1146.00	2.10	2406.60	2406.60	2406.60
02 .02 .02	EXCAVACION PARA ZAPATAS Y ZANJAS	m3							433.65
	Zapatas								
	z1		21.00	3.80	3.80	0.60	181.94	181.94	
	z2		16.00	2.85	2.85	0.60	77.98	77.98	
	Muros de contencion								
	Muro 1 (inferior derecho)		1.00	Area	69.93	0.60	41.96	41.96	
	Muro 2 (inferior izquierdo)		1.00	Area	68.67	0.60	41.20	41.20	
	Muro 3 (superior derecho)		1.00	Area	82.32	0.60	49.39	49.39	
	Muro 4 (superior izquierdo)		1.00	Area	68.63	0.60	41.18	41.18	
02 .02 .02	RELLENO Y COMP. MANUAL- MAT. DE PRESTAMO	m3							546.20
	Muros de contencion								
	Muro 1 (inferior derecho)		1.00	Area	57.73	2.30	132.78	132.78	
	Muro 2 (inferior izquierdo)		1.00	Area	55.80	2.30	128.34	128.34	
	Muro 3 (superior derecho)		1.00	Area	68.87	2.30	158.40	158.40	
	Muro 4 (superior izquierdo)		1.00	Area	55.08	2.30	126.68	126.68	
02 .02 .03	ELIMINACION (TRANSPORTE) VOLQUETE DE 4M3 REND.=20 M3/DIA D=5	m3							2752.86
	Excavacion		1.00	2840.25		1.20	2752.86	2752.86	
	Relleno		1.00	546.20					
02 .03	CONCRETO SIMPLE								
02 .03 .01	SOLADO DE CONCRETO 1:12 (e=10 cm.)	m2							722.75
	Zapatas								
	z1		21.00	3.80	3.80		303.24	303.24	
	z2		16.00	2.85	2.85		129.96	129.96	
	Muros de contencion								
	Muro 1 (inferior derecho)		1.00	Area	69.93		69.93	69.93	
	Muro 2 (inferior izquierdo)		1.00	Area	68.67		68.67	68.67	
	Muro 3 (superior derecho)		1.00	Area	82.32		82.32	82.32	
	Muro 4 (superior izquierdo)		1.00	Area	68.63		68.63	68.63	
02 .04	CONCRETO ARMADO								
02 .04 .01	CONCRETO FC=210 KG/CM2 EN ZAPATAS	m3							259.92
	Zapatas								
	z1		21.00	3.80	3.80	0.60	181.94	181.94	
	z2		16.00	2.85	2.85	0.60	77.98	77.98	
02 .04 .02	ACERO GRADO 60 EN ZAPATAS	kg							13189.20
	Acero en zapatas		1.00	Ver Arm Zapatas			13189.20	13189.20	
02 .04 .03	CONCRETO FC=210 KG/CM2 EN PEDESTALES	m3							69.26
	Pedestales de concreto		37.00	1.30	1.20	1.20	69.26	69.26	
02 .04 .04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA EN PEDESTALES	m2							230.88
	Pedestales de concreto		37.00	4.00	1.20	1.30	230.88	230.88	
02 .04 .05	ACERO GRADO 60 EN PEDESTALES	kg							15715.71
	Acero en muros de contencion		1.00	Ver Arm pedestal			15715.71	15715.71	
02 .04 .06	CONCRETO FC=210 KG/CM2 EN DADOS DE APOYO	m3							23.02
	Dado con columnas lee		15.00	Area:	1.02	0.60	9.15	9.15	
	Dado con columnas ele		6.00	Area:	1.19	0.60	4.29	4.29	
	Dado con columnas rectangular		13.00	Area:	1.02	0.60	7.96	7.96	
	Dado sin columnas		3.00	Area:	0.90	0.60	1.62	1.62	

INGENIERIA CIVIL

UNSC



HOJA DE METRADOS

PROYECTO: TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA

SUB PROY: ESTRUCTURA AISLADA

TÍTULO: ESTRUCTURAS

FECHA: 04-2015

ITEM	ESPECIFICACION	U	CANT.	MEDIDAS			PARC.	TOTAL X UND	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO			
02 .04 .07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN DADOS DE APOYO	m2							143.19
	Dados de apoyo de concreto		37.00	1.00	4.05	0.60	89.91	89.91	
			37.00	1.00	Area:	1.44	53.28	53.28	
02 .04 .08	ACERO GRADO 60 EN DADOS DE APOYO	kg							3311.06
	Dados de apoyo de concreto		1.00	Ver Arm	pedestal	3311.06	3311.06	3311.06	
02 .04 .09	CONCRETO FC=210 KG/CM2 EN MURO DE CONTENCION	m3							162.50
	Muros de contencion								
	Pantalla 1 (Inferior derecho)		1.00	34.00	0.20	2.30	15.64	15.64	
	Pantalla 2 (Inferior izquierdo)		1.00	31.10	0.20	2.30	14.31	14.31	
	Pantalla 3 (superior derecho)		1.00	37.15	0.20	2.30	17.09	17.09	
	Pantalla 4 (superior izquierdo)		1.00	30.70	0.20	2.30	14.12	14.12	
	Cimiento 1 (Inferior derecho)		1.00	Area	69.93	0.35	24.48	24.48	
	Cimiento 2 (Inferior izquierdo)		1.00	Area	68.67	0.35	24.03	24.03	
	Cimiento 3 (superior derecho)		1.00	Area	82.32	0.35	28.81	28.81	
	Cimiento 4 (superior izquierdo)		1.00	Area	68.63	0.35	24.02	24.02	
02 .04 .10	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MUROS DE CONTENCION	m2							611.57
	Muros de contencion								
	Pantalla 1 (Inferior derecho)		2.00	34.00	2.30		156.40	156.40	
	Pantalla 2 (Inferior izquierdo)		2.00	31.10	2.30		143.06	143.06	
	Pantalla 3 (superior derecho)		2.00	37.15	2.30		170.89	170.89	
	Pantalla 4 (superior izquierdo)		2.00	30.70	2.30		141.22	141.22	
02 .04 .11	ACERO GRADO 60 EN MURO DE CONTENCION	kg							13087.74
	Acero en muros de contencion		1.00	Ver Arm	Muros	13087.74	13087.74	13087.74	
02 .04 .12	CONCRETO F'C=210 KG/CM2. PARA COLUMNAS	m3							135.63
	C1		5.00	Area:	0.38	15.60	29.25	29.25	
	C2		2.00	Area:	0.29	15.60	9.05	9.05	
	C3		5.00	Area:	0.38	18.65	34.97	34.97	
	C4		2.00	Area:	0.29	18.65	10.82	10.82	
	C5		5.00	Area:	0.38	16.35	30.66	30.66	
	C6		2.00	Area:	0.29	16.35	9.48	9.48	
	C7		9.00	Area:	0.15	8.45	11.41	11.41	
02 .04 .13	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA EN COLUMNAS	m2							1066.52
	C1		5.00	Long:	3.50	12.80	224.00	224.00	
	C2		2.00	Long:	2.80	12.80	71.68	71.68	
	C3		5.00	Long:	3.50	15.15	265.13	265.13	
	C4		2.00	Long:	2.80	15.15	84.84	84.84	
	C5		5.00	Long:	3.50	13.55	237.13	237.13	
	C6		2.00	Long:	2.80	13.55	75.88	75.88	
	C7		9.00	Long:	1.70	7.05	107.87	107.87	
02 .04 .14	ACERO GRADO 60 EN COLUMNAS	kg							29900.95
	Armadura columnas		1.00	29900.95			29900.95	29900.95	
02 .04 .15	CONCRETO EN VIGAS F'C=210 KG/CM2	m3							176.20
	Vigas secundarias								
	Primera planta								
	V-109		1.00	28.70	0.35	0.40	4.02	4.02	
	V-113		1.00	32.50	0.35	0.40	4.55	4.55	
	V-110,V-111		2.00	28.70	0.25	0.40	5.74	5.74	
	V-112		1.00	32.50	0.25	0.40	3.25	3.25	
	Segunda planta								
	V-209,V-210		2.00	36.30	0.25	0.40	7.26	7.26	
	V-211, V-212		2.00	41.50	0.25	0.40	8.30	8.30	
	Tercera planta								
	V-309,V-310		2.00	36.30	0.25	0.40	7.26	7.26	
	V-311, V-312		2.00	41.50	0.25	0.40	8.30	8.30	

INGENIERIA CIVIL

UNSCW



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

HOJA DE METRADOS

PROYECTO: TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA

SUB PROY: ESTRUCTURA AISLADA

TITULO: ESTRUCTURAS

FECHA: 04-2015

ITEM	ESPECIFICACION	U	CANT.	MEDIDAS			PARC.	TOTAL X UND	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO			
	Cuarta planta								
	V-409,V-410,V-411, V-412		4.00	36.30	0.25	0.40	14.52	14.52	
	Quinta planta								
	V-509, V-510,V-511,V-512,V-513		5.00	36.30	0.25	0.40	18.15	18.15	
	Vigas principales								
	Primera planta								
	V-101,V-107		2.00	17.10	0.40	0.60	8.21	8.21	
	V-102,V-103,V-104,V-105,V-106		5.00	17.10	0.25	0.60	12.83	12.83	
	V-108		1.00	4.25	0.40	0.60	1.02	1.02	
	Segunda planta								
	V-201,V-205,V-206,V-207		4.00	17.25	0.25	0.60	10.35	10.35	
	V-202,V-203,V-204		3.00	19.25	0.25	0.60	8.66	8.66	
	V-208		1.00	4.25	0.25	0.60	0.64	0.64	
	Tercera planta								
	V-301,V-305,V-306,V-307		4.00	17.25	0.25	0.60	10.35	10.35	
	V-302,V-303,V-304		3.00	19.25	0.25	0.60	8.66	8.66	
	V-308		1.00	4.25	0.25	0.60	0.64	0.64	
	Cuarta planta								
	V-401,V-403,V-405, V-407		4.00	15.40	0.25	0.60	9.24	9.24	
	V-402,V-404,V-406		3.00	15.40	0.25	0.60	6.93	6.93	
	Quinta planta								
	V-501,V-503,V-505, V-507		4.00	16.50	0.25	0.60	9.90	9.90	
	V-502,V-504,V-506		3.00	16.50	0.25	0.60	7.43	7.43	
02 .04 .16	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA EN VIGAS	m2							1563.05
	Vigas secundarias								
	Primera planta								
	V-109		1.00	28.70	Long	0.90	25.83	25.83	
	V-113		1.00	32.50	Long	0.90	29.25	29.25	
	V-110,V-111		2.00	28.70	Long	0.90	51.66	51.66	
	V-112		1.00	32.50	Long	0.90	29.25	29.25	
	Segunda planta								
	V-209,V-210		2.00	36.30	Long	0.90	65.34	65.34	
	V-211, V-212		2.00	41.50	Long	0.90	74.70	74.70	
	Tercera planta								
	V-309,V-310		2.00	36.30	Long	0.90	65.34	65.34	
	V-311, V-312		2.00	41.50	Long	0.90	74.70	74.70	
	Cuarta planta								
	V-409,V-410,V-411, V-412		4.00	36.30	Long	0.90	130.68	130.68	
	Quinta planta								
	V-509, V-510,V-511,V-512,V-513		5.00	36.30	Long	0.90	163.35	163.35	
	Vigas principales								
	Primera planta								
	V-101,V-107		2.00	17.10	Long	1.40	47.88	47.88	
	V-102,V-103,V-104,V-105,V-106		5.00	17.10	Long	1.40	119.70	119.70	
	V-108		1.00	4.25	Long	1.40	5.95	5.95	
	Segunda planta								
	V-201,V-205,V-206,V-207		4.00	17.25	Long	1.40	96.60	96.60	
	V-202,V-203,V-204		3.00	19.25	Long	1.40	80.85	80.85	
	V-208		1.00	4.25	Long	1.40	5.95	5.95	
	Tercera planta								
	V-301,V-305,V-306,V-307		4.00	17.25	Long	1.40	96.60	96.60	
	V-302,V-303,V-304		3.00	19.25	Long	1.40	80.85	80.85	
	V-308		1.00	4.25	Long	1.40	5.95	5.95	
	Cuarta planta								
	V-401,V-403,V-405, V-407		4.00	15.40	Long	1.40	86.24	86.24	
	V-402,V-404,V-406		3.00	15.40	Long	1.40	64.68	64.68	
	Quinta planta								
	V-501,V-503,V-505, V-507		4.00	16.50	Long	1.40	92.40	92.40	
	V-502,V-504,V-506		3.00	16.50	Long	1.40	69.30	69.30	
02 .04 .17	ACERO GRADO 60 EN VIGAS	kg							28754.24

INGENIERIA CIVIL

UNSCM



HOJA DE METRADOS

PROYECTO: TESIS: DESEMPEÑO SISMICO DE EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA TIPO AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS APLICADO AL PABELLON DE LA ESCUELA DE AGRONOMIA

SUB PROY: ESTRUCTURA AISLADA

TITULO: ESTRUCTURAS

FECHA: 04-2015

ITEM	ESPECIFICACION	U	CANT.	MEDIDAS			PARC.	TOTAL X UND	TOTAL
				LARGO	ANCHO	ALTO			
	Armadura vigas		1.00	28754.24			28754.24	28754.24	
02 .04 .18	CONCRETO EN LOSAS ALIGERADAS F'C=210 KG/CM2	m3							300.55
	Primera losa		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Segunda losa		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Tercera losa		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Cuarta losa		1.00	Area:	587.00	0.09	52.83	52.83	
	Quinta losa uncluye techo inclinado		1.00	36.30	16.90	0.09	55.21	55.21	
02 .04 .19	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL EN LOSAS ALIGERADAS	m2							300.55
	Primera losa		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Segunda losa		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Tercera losa		1.00	Area:	713.00	0.09	64.17	64.17	
	Cuarta losa		1.00	Area:	587.00	0.09	52.83	52.83	
	Quinta losa uncluye techo inclinado		1.00	36.30	16.90	0.09	55.21	55.21	
02 .04 .20	ACERO GRADO 60 EN LOSAS ALIGERADAS	kg							5855.63
	Acero losa		1.00	5855.63			5855.63	5855.63	
02 .04 .21	VIGUETA PRETENSADA V-103 PARA LOSA	m							5642.40
	Primera losa		1.00	8.00	41.50		332.00	332.00	
			1.00	24.00	36.30		871.20	871.20	
	Segunda losa		1.00	8.00	41.50		332.00	332.00	
			1.00	24.00	36.30		871.20	871.20	
	Tercera losa		1.00	8.00	41.50		332.00	332.00	
			1.00	24.00	36.30		871.20	871.20	
	Cuarta losa		1.00	28.00	36.30		1016.40	1016.40	
	Quinta losa		1.00	28.00	36.30		1016.40	1016.40	
02 .05	ESTRUCTURAS METALICAS								
02 .05 .01	ESTRUCTURA METALICA CON COBERTURA DE PLANCHAS METALICAS	m2							186.20
			1.00	133.00	1.40		186.20	186.20	
02 .06	AISLADORES SIMICOS								
02 .06 .01	AISLADOR TIPO HDR De=65 cm	Und							25.00
			1.00	25.00			25.00	25.00	
02 .06 .02	AISLADOR TIPO LRB De=70 cm, Dp=9.15 cm	Und							12.00
			1.00	12.00			12.00	12.00	

Anexo E

1. Planos

1.1. Planos de la Estructura Convencional Existente

1.2. Planos de la Estructura Aislada