

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**EVALUACIÓN DEL ESTUDIO DE REHABILITACIÓN
DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CON
AISLADORES SÍSMICOS POR MEDIO DE ANÁLISIS
NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA**

AUTORA:

Marcillo Zavala, Katherine Jahaira

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

TUTOR:

Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco

**Guayaquil, Ecuador
13 de Septiembre del 2016**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Marcillo Zavala, Katherine Jahaira**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniera Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 13 del mes de Septiembre del año 2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Marcillo Zavala, Katherine Jahaira**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Evaluación del Estudio de Rehabilitación del Edificio de la Facultad de Ingeniería con Aisladores Sísmicos por Medio de Análisis No-Lineal Historia de la Respuesta** previo a la obtención del Título de **Ingeniera Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 13 del mes de Septiembre del año 2016

AUTORA

f. _____

Marcillo Zavala, Katherine Jahaira



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Marcillo Zavala, Katherine Jahaira**

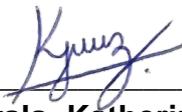
DECLARO QUE:

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación del Estudio de Rehabilitación del Edificio de la Facultad de Ingeniería con Aisladores Sísmicos por Medio de Análisis No-Lineal Historia de la Respuesta**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 del mes de Septiembre del año 2016

LA AUTORA

f. _____


Marcillo Zavala, Katherine Jahaira



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

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULO KATHERINE MARCILLO 1.docx
(D21579236)
Submitted: 2016-09-02 02:07:00
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 3 %

Sources included in the report:

TRABAJO DE GRADUACION SANTIAGO PEREZ(1).pdf (D13367805)
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6124/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-161.pdf>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4978/1/T-UCSG-PRE-JUR-DER-49.pdf>

Instances where selected sources appear:

6



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AGRADECIMIENTO

A Dios por dejarme vivir para poder cumplir esta gran meta, a mis padres Celeste Zavala y Enrique Marcillo porque de una y otra manera siempre han estado a mi lado para brindarme su apoyo incondicional, sus enseñanzas y las fuerzas para que no me dé por vencida y logre todo lo que me proponga, en especial mi mami, por estar presente en todo momento y por todo el amor que siempre me ha brindado en los mejores y peores momentos que he vivido, siendo el pilar más importante para mi vida y a mis hermanos en especial a mi hermana Maira Marcillo.

A mi familia y de manera especial a mis abuelos José y Dolores que son muy importantes para mí.

A mis amigos, profesores y a todos los que han formado parte de esta hermosa etapa de mi vida y están presente en mi corazón.



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

DEDICATORIA

A mis padres, mis hermanos, mis abuelos y mi familia porque este triunfo no es solo mío sino también de ellos que siempre han estado a mi lado.



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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Jaime Francisco Hernández Barredo

TUTOR

f. _____

Ing. Lilia Valarezo de Pareja

DECANA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Carlos Chon Díaz

COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

Ing. Xavier Federico Casal Rodríguez

OPONENTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

Nombre del Docente- Tutor	Nombres de los miembros del Tribunal de sustentación		
JAIME HERNÁNDEZ BARREDO	LILIA VALAREZO DE PAREJA	CARLOS CHON DÍAZ	XAVIER CASAL RODRÍGUEZ
Etapas de ejecución del proceso e Informe final	Nota sobre 10:	Nota sobre 10:	Nota sobre 10:
Nota sobre 10:	Total: 20%	Total: 50%	Total: 30%
Parcial: 50%	Parcial: 50%		
Nota final ponderada del trabajo de título:			

Para constancia de lo cual los abajo firmantes certificamos.

f. _____

Ing. Lilia Valarezo de Pareja

DECANA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Carlos Chon Díaz

COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

**Ing. Xavier Federico Casal
Rodríguez**

OPONENTE

f. _____

Ing. Hernández Barredo, Jaime

TUTOR

Guayaquil, a los 13 del mes de Septiembre del año 2016

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	21
1.1 GENERALIDADES	21
1.2 JUSTIFICACIÓN	21
1.3 OBJETIVOS	21
1.4 ALCANCE	22
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 ESTUDIOS ANTERIORES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.	23
2.2 NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA (NEC 15, 2015).....	24
2.3 ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA SEGÚN NEC 15.	25
2.4 AISLACIÓN SÍSMICA	28
2.5 ESCALAMIENTO DE UN REGISTRO SÍSMICO PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.	31
2.6 ANÁLISIS NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA (Etabs 2015 – Analysis Reference Manual).	31
CAPÍTULO 3: COMPARACIÓN ENTRE UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL CON UN ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL.	34
3.1 INTRODUCCIÓN.....	34
3.2 ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA EN ESTUDIO.....	35
3.3 ESCALAMIENTO DE UN REGISTRO SÍSMICO PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA EN ESTUDIO.....	37
3.3.1 TABLAS RESUMEN DE LOS FACTORES DE ESCALAMIENTO PARA LOS DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.	40
3.4 COMPARACIÓN DE LA CURVA CORTANTE BASAL VS. DESPLAZAMIENTO DEL ANÁLISIS DINÁMICO NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA CON EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL (PUSHOVER) (Dunn, 2016).....	41
3.5 DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO DE LA ESTRUCTURA SOBRE EL SISTEMA DE AISLACIÓN PARA VARIOS NIVELES SÍSMICOS.....	56
3.6 DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO REHABILITACIÓN (CON AISLACIÓN).....	60
3.6.1 DETERMINACIÓN DE LA HISTÉRESIS DE LA ESTRUCTURA SOBRE EL SISTEMA DE AISLACIÓN.....	67
3.6.2 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE DESEMPEÑO PROMEDIO....	68
3.6.3 DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN.....	73

CAPÍTULO 4: ACELERACIONES Y DERIVAS DE ENTREPISO DEL EDIFICIO PARA VARIOS NIVELES SÍSMICOS.	74
4.1 INTRODUCCIÓN.	74
4.2 ACELERACIONES DE PISO PARA DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.	75
4.3 DERIVAS DE ENTREPISO PARA LOS REGISTROS SÍSMICOS A DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.	80
CAPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS.	85
5.1 INTRODUCCIÓN.	85
5.2 NIVELES DE DESEMPEÑO OBTENIDOS PARA LOS REGISTROS SÍSMICOS A DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.	86
5.3 COMPARACIÓN DEL NIVEL DE DESEMPEÑO PROMEDIO DE LA ESTRUCTURA PARA UN ANÁLISIS NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA (NL HR) VS UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL.	91
5.4 COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN MEDIANTE UN ANÁLISIS NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA (NL HR) VS UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL.	96
5.5 OBSERVACIONES DE LAS ACELERACIONES PARA LOS REGISTROS SÍSMICOS A DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.	98
5.6 OBSERVACIONES DE LAS DERIVAS DE ENTREPISO PARA LOS REGISTROS SÍSMICOS A DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.	104
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	106
6.1 RESUMEN.	106
6.2 CONCLUSIONES.	108
6.3 RECOMENDACIONES.	109
BIBLIOGRAFÍA.	110
ANEXOS.	111
APÉNDICE A.	111
1. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.	111
2. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.	112
3. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.	113
APÉNDICE B.	114
1. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO LLALLAY_VALP PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.	114
2. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO VALPARAISO-VALP PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.	119

3.	ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO VINA2000S PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.	123
4.	ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO ICA2-EO PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.	128
5.	ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO LLOLLEO1 PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.	133
6.	ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO MELIPILLA-EO-OS PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.	138
7.	ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO ASDO-N PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.	143
	APÉNDICE C	148
1.	PASOS PARA DEFINIR UN REGISTRO SÍSMICO EN ETABS 2015	148
2.	PASOS PARA DEFINIR UN CASO DE INTEGRACIÓN DIRECTA NO-LINEAL TIEMPO-HISTORIA EN ETABS 2015	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de amenaza sísmica (NEC 15, 2015).	24
Tabla 2. Tipo de suelo y Factores de sitio Fa (NEC 15, 2015).	27
Tabla 3. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd (NEC 15, 2015).	27
Tabla 4. Tipo de suelo y Factores de sitio Fs (NEC 15, 2015).	28
Tabla 5. Factores de Escalamiento de los registros sísmicos para diferentes niveles sísmicos. Edificio con Aislación.	40
Tabla 6. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales. Sismo Llallay_Valp.	56
Tabla 7. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Valparaiso-Valp.	57
Tabla 8. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Vina200os.....	57
Tabla 9. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Ica2-EO.	58
Tabla 10. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Lolloe1.	58
Tabla 11. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Melipilla-eo-os.....	59
Tabla 12. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Asdo-N.....	59
Tabla 13. Resumen de los Desplazamientos relativos Máximos de la estructura sobre el sistema de aislación- Dirección X.....	68
Tabla 14. Resumen de los Desplazamientos relativos Máximos de la estructura sobre el sistema de aislación- Sentido Y.	69
Tabla 15. Resumen de los Cortantes basales de la estructura sobre el sistema de aislación- Sentido X.....	70
Tabla 16. Resumen de los Cortantes basales de la estructura sobre el sistema de aislación- Sentido Y.....	71
Tabla 17. Resumen de los desplazamientos máximos del sistema de aislación para los diferentes registros sísmicos- Sentido X y Y.....	73
Tabla 18. Aceleraciones máximas para el Sismo Llallay_Valp - Dirección X.....	75
Tabla 19. Aceleraciones máximas para el Sismo Llallay_Valp - Dirección Y.....	75
Tabla 20. Aceleraciones máximas para el Sismo Valparaiso-Valp - Dirección X.....	76
Tabla 21. Aceleraciones máximas para el Sismo Valparaiso-Valp - Dirección Y.....	76
Tabla 22. Aceleraciones máximas para el Sismo Vina200os - Dirección X.....	76
Tabla 23. Aceleraciones máximas para el Sismo Vina200os - Dirección Y.....	77
Tabla 24. Aceleraciones máximas para el Sismo Ica2-EO - Dirección X.....	77
Tabla 25. Aceleraciones máximas para el Sismo Ica2-EO - Dirección Y.....	77
Tabla 26. Aceleraciones máximas para el Sismo Lolloe1 - Dirección X.	78
Tabla 27. Aceleraciones máximas para el Sismo Lolloe1 - Dirección Y.	78
Tabla 28. Aceleraciones máximas para el Sismo Melipilla-eo-os - Dirección X.....	78
Tabla 29. Aceleraciones máximas para el Sismo Melipilla-eo-os - Dirección Y.....	79
Tabla 30. Aceleraciones máximas para el Sismo Asdo-N - Dirección X.....	79
Tabla 31. Aceleraciones máximas para el Sismo Asdo-N - Dirección Y.....	79
Tabla 32. Derivas entrepiso para el Sismo Llallay_Valp - Dirección X.	80
Tabla 33. Derivas entrepiso para el Sismo Llallay_Valp - Dirección Y.	80

Tabla 34. Derivas entrepiso para el Sismo Valparaiso-Valp - Dirección X.	80
Tabla 35. Derivas entrepiso para el Sismo Valparaiso-Valp - Dirección Y.	81
Tabla 36. Derivas entrepiso para el Sismo Vina200os - Dirección X.....	81
Tabla 37. Derivas entrepiso para el Sismo Vina200os - Dirección Y.....	81
Tabla 38. Derivas entrepiso para el Sismo Ica2-EO - Dirección X.	82
Tabla 39. Derivas entrepiso para el Sismo Ica2-EO - Dirección Y.	82
Tabla 40. Derivas entrepiso para el Sismo Llolleo1 - Dirección X.	82
Tabla 41. Derivas entrepiso para el Sismo Llolleo1 - Dirección Y.	83
Tabla 42. Derivas entrepiso para el Sismo Melipilla-eo-os - Dirección X.....	83
Tabla 43. Derivas entrepiso para el Sismo Melipilla-eo-os - Dirección Y.....	83
Tabla 44. Derivas entrepiso para el Sismo Asdo-N - Dirección X.....	84
Tabla 45. Derivas entrepiso para el Sismo Asdo-N - Dirección Y.....	84
Tabla 46. Tabla resumen del nivel de desempeño para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal- Sismos Raro y Muy Raro - Dirección X.....	94
Tabla 47. Tabla resumen del nivel de desempeño para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal- Sismos Raro y Muy Raro - Dirección Y.....	94
Tabla 48. Desempeño del Sistema de Aislación para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal- Sismo Muy Raro - Dirección X.	96
Tabla 49. Desempeño del Sistema de Aislación para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal- Sismo Muy Raro - Dirección Y.	97
Tabla 50. Aceleraciones máximas del edificio original (sin aislación) para el Sismo Asdo-N - Dirección Y.	100
Tabla 51. Aceleraciones absolutas promedio - Dirección X.	103
Tabla 52. Aceleraciones absolutas promedio - Dirección Y.	103
Tabla 53. Derivas entrepiso promedio - Dirección X.	104
Tabla 54. Derivas entrepiso promedio - Dirección Y.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de respuesta para diseño (NEC 15, 2015).	25
Figura 2. Mapa del Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z (NEC 15, 2015).	26
Figura 3. Efecto de las aceleraciones espectrales usando aisladores sísmicos.	29
Figura 4. Efecto de los desplazamientos usando aisladores sísmicos.	29
Figura 5. Comportamiento dinámico de un edificio sin aislación sísmica.	30
Figura 6. Comportamiento dinámico de un edificio con aislación sísmica.	30
Figura 7. Curvas de peligro sísmico para Guayaquil, con los nuevos valores de Z y Sa (NEC 15, 2015).	35
Figura 8. Espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Muy Raro.....	36
Figura 9. Espectros de respuesta elásticos en suelo tipo D y zona sísmica V para los distintos niveles de amenaza sísmica según NEC 15.....	37
Figura 10. Registro sísmico Valparaiso-Valp.	38
Figura 11. Espectro Valparaiso-Valp escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.	39
Figura 12. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Llallay-Valp sentido X.....	42
Figura 13. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Llallay-Valp sentido Y.....	43
Figura 14. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Valparaiso-Valp sentido X.	44
Figura 15. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Valparaiso-Valp sentido Y.	45
Figura 16. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Vina200os sentido X.	46
Figura 17. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Vina200os sentido Y.	47
Figura 18. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Ica2-EO sentido X.	48
Figura 19. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Ica2-EO sentido Y.	49
Figura 20. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Llolleo1 sentido X.....	50
Figura 21. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Llolleo1 sentido Y.....	51
Figura 22. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Melipilla-eo-os sentido X.	52
Figura 23. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Melipilla-eo-os sentido Y.	53
Figura 24. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Asdo-N sentido X.	54
Figura 25. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Asdo-N sentido Y.	55
Figura 26: Niveles de desempeño para registro Llallay_Valp.....	60
Figura 27: Niveles de desempeño para registro Valparaiso_Valp.	61

Figura 28: Niveles de desempeño para registro Vina200os.	62
Figura 29: Niveles de desempeño para registro lca2-EO.....	63
Figura 30: Niveles de desempeño para registro Lolloe1.....	64
Figura 31: Niveles de desempeño para registro Melipilla-eo-os.	65
Figura 32: Niveles de desempeño para registro Asdo-N.....	66
Figura 33: Niveles de desempeño para registro Asdo-N.....	67
Figura 34. Niveles de desempeño según el promedio de las respuestas. Dirección X	72
Figura 35. Niveles de desempeño según el promedio de las respuestas. Dirección Y	72
Figura 36. Elevación del Edificio de la Facultad de Ingeniera sobre el sistema de aislación.	74
Figura 37. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Frecuente - Dirección X.	86
Figura 38. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Frecuente - Dirección Y.	87
Figura 39. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Ocasional - Dirección X.	88
Figura 40. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Ocasional - Dirección Y.	88
Figura 41. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Raro - Dirección X.	89
Figura 42. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Raro - Dirección Y.	89
Figura 43. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Muy Raro - Dirección X.	90
Figura 44. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Muy Raro - Dirección Y.	90
Figura 45. Niveles de desempeño para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal -Sismo Raro- Dirección X.	91
Figura 46. Niveles de desempeño para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal -Sismo Raro- Dirección Y.	92
Figura 47. Niveles de desempeño para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal -Sismo Muy Raro- Dirección X.	92
Figura 48. Niveles de desempeño para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal -Sismo Muy Raro- Dirección Y.	93
Figura 49. Aceleraciones absolutas del edificio sobre el sistema de aislación registro Asdo-N -Sismo Muy Raro- Dirección Y.	99
Figura 50. Elevación del Edificio Original de la Facultad de Ingeniera (sin aislación).	100
Figura 51. Aceleraciones absolutas del edificio original registro Asdo-N -Sismo Muy Raro- Dirección Y.	102
Figura 52. Espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Frecuente.	111
Figura 53. Espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Ocasional.....	112
Figura 54. Espectro de respuesta para un nivel de amenaza sísmica Raro-Diseño.	113

Figura 55. Registro sísmico Llallay_Valp.	114
Figura 56. Espectro Llallay_Valp escalado a Frecuente para el edificio con aislación.	115
Figura 57. Espectro Llallay_Valp escalado a Ocasional para el edificio con aislación.	116
Figura 58. Espectro Llallay_Valp escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.	117
Figura 59. Espectro Llallay_Valp escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.	118
Figura 60. Registro sísmico Valparaiso-Valp.	119
Figura 61. Espectro Valparaiso-Valp escalado a Frecuente para el edificio con aislación.	120
Figura 62. Espectro Valparaiso-Valp escalado a Ocasional para el edificio con aislación.	121
Figura 63. Espectro Valparaiso-Valp escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.	122
Figura 64. Registro sísmico Vina200os.....	123
Figura 65. Espectro Vina200os escalado a Frecuente para el edificio con aislación.	124
Figura 66. Espectro Vina200os escalado a Ocasional para el edificio con aislación.	125
Figura 67. Espectro Vina200os escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.	126
Figura 68. Espectro Vina200os escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.	127
Figura 69. Registro sísmico Ica2-EO.	128
Figura 70. Espectro Ica2-EO escalado a Frecuente para el edificio con aislación.	129
Figura 71. Espectro Ica2-EO escalado a Ocasional para el edificio con aislación.	130
Figura 72. Espectro Ica2-EO escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.	131
Figura 73. Espectro Ica2-EO escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.	132
Figura 74. Registro sísmico Llolleo1.	133
Figura 75. Espectro Llolleo1 escalado a Frecuente para el edificio con aislación.	134
Figura 76. Espectro Llolleo1 escalado a Ocasional para el edificio con aislación.	135
Figura 77. Espectro Llolleo1 escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.	136
Figura 78. Espectro Llolleo1 escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.	137
Figura 79. Registro sísmico Melipilla-eo-os.....	138
Figura 80. Espectro Melipilla-eo-os escalado a Frecuente para el edificio con aislación.	139
Figura 81. Espectro Melipilla-eo-os escalado a Ocasional para el edificio con aislación.	140
Figura 82. Espectro Melipilla-eo-os escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.	141
Figura 83. Espectro Melipilla-eo-os escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.	142
Figura 84. Registro sísmico Asdo-N.....	143
Figura 85. Espectro Asdo-N escalado a Frecuente para el edificio con aislación.	144

Figura 86. Espectro Asdo-N escalado a Ocasional para el edificio con aislación...	145
Figura 87. Espectro Asdo-N escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.	146
Figura 88. Espectro Asdo-N escalado a Muy Raro para el edificio con aislación. ..	147

RESUMEN

Este trabajo se estudia el desempeño de la Rehabilitación del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil con un sistema de aislación sísmica propuesto por Dunn (2016) mediante un análisis No-lineal Historia de la Respuesta. Para ello se establecieron 4 niveles sísmicos según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15): sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro. Además, se usaron 7 registros en suelo duro e intermedio: Llallay_Valp, Valparaiso-Valp, Vina200os, Ica2-EO, Lollole1, Melipilla-eo-os, Asdo-N. Los registros fueron escalados en base al periodo principal de vibración de la estructura aislada. Se calcularon los desplazamientos máximos del último piso del edificio para cada uno de los registros y niveles sísmicos establecidos. Se determinó el desempeño del edificio para cada uno de los registros y niveles sísmicos y estos se compararon con los resultados obtenidos mediante el análisis Estático No-lineal (Pushover) realizado por Dunn (2016). Se determinaron las aceleraciones y derivas de entre piso para cada uno de los registros y niveles sísmicos. Finalmente, se evaluó el comportamiento del edificio y se identificó las bondades del uso del sistema de aislación.

Palabras claves: desplazamientos, registros sísmicos, niveles de amenaza de sísmica, aislación, espectro, factor de escalamiento, nivel de desempeño.

SUMMARY

This work studies the performance of the rehabilitation of the Universidad Católica Santiago de Guayaquil's Engineering School's building based on seismic isolation system proposed by Dunn (2016). A Nonlinear Time History Analysis was conducted to achieve this goal. Four (4) seismic levels were defined according to NEC-15: Frequent, Occasional, Rare and Very Rare. Seven ground motion records of hard and intermediate soil were used; these records were scaled to match the acceleration spectra at the principal mode of vibration of the isolated building. The maximum displacement of the top floor was computed for every record and seismic level; a performance level was obtained for each case. Performance levels were compared with the ones obtained by Dunn (2016) by a Nonlinear Static Analysis (Pushover). Floor accelerations and drifts were obtained for each record and seismic level. The accelerations of the isolated building were compared with its non- isolated version in order to evaluate the response; conclusions of this behavior were reported.

Keywords: displacements, seismic records, seismic threat levels, insulation, spectrum, scaling factor, performance level.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El presente trabajo de grado se enfoca en el estudio del comportamiento no-lineal del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil con un sistema de aislación propuesto en un trabajo titulado “Rehabilitación Estructural de la Facultad de Ingeniería mediante Aisladores Sísmicos” (Dunn 2016). A diferencia del estudio anterior realizado por Dunn (2016), en este trabajo se realizará un análisis No-lineal Historia de la Respuesta.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La Facultad de Ingeniería es uno de los edificios más antiguos de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, el cual ante la ocurrencia de un evento sísmico podría sufrir grandes daños no estructurales y estructurales en sus elementos. En un trabajo anterior, Dunn (2016), se realizó el estudio y diseño de la rehabilitación o reforzamiento del edificio mediante un sistema de aislación sísmica. Este trabajo evalúa la rehabilitación realizada por Dunn (2016) mediante un análisis No-lineal Historia de la Respuesta, el cual es considerado un análisis más preciso y real.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo es evaluar el comportamiento del edificio rehabilitado con un sistema de aislación sísmica mediante un análisis No-lineal Historia de la Respuesta.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar los desplazamientos máximos del último piso del edificio rehabilitado (con aislación sísmica) para varios registros sísmicos escalados a 4 niveles sísmicos (frecuente, ocasional, raro y muy raro).
- Determinar el desempeño sísmico del edificio aislado para varios registros y varios niveles sísmicos.
- Comparar el desempeño sísmico del edificio aislado para el sismo Raro y Muy Raro con los obtenidos mediante un análisis Estático No-lineal (Pushover) por Dunn (2016).

- Determinar el desempeño sísmico del edificio rehabilitado para los 4 niveles sísmicos establecidos por medio del promedio de las respuestas.
- Determinar las aceleraciones de los pisos del edificio rehabilitado (con aislación sísmica) para varios registros sísmicos escalados a 4 niveles sísmicos.
- Determinar las derivas de entrepiso del edificio rehabilitado (con aislación sísmica) para varios registros sísmicos escalados a 4 niveles sísmicos.

1.4 ALCANCE

- Realizar un análisis no-lineal historia de la respuesta de la rehabilitación del edificio de la Facultad Ingeniería por medio de aislación sísmica.
- Evaluar el desempeño sísmico del edificio para los 4 niveles sísmicos especificados en la NEC-15.
- Comparar los resultados del análisis No-lineal Historia de la Respuesta (aceleraciones y derivas de entrepiso) con los del análisis Estático No-lineal.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 ESTUDIOS ANTERIORES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

Este trabajo parte de la información obtenida en 2 estudios previos sobre el comportamiento estructural del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

El primer estudio fue realizado por Loor (2015) el cual fue titulado “Comportamiento Lineal y No Lineal del Edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”. En este estudio se realizó, primeramente, un levantamiento estructural del edificio. Se utilizaron herramientas como el Esclerómetro Mecánico y el Escáner FerroScan. Para los elementos estructurales difíciles de explorar se realizó el diseño estructural de los elementos usando los métodos de análisis de la época explicados por el diseñador estructural del edificio. Se revisó el diseño del edificio por medio del análisis Dinámico Espectral especificado por la actual norma de diseño (NEC-15). Finalmente, se realizó un análisis Estático No-lineal, por medio del programa de elementos finitos Etabs 2015, donde se establecieron niveles de desempeño sísmico del edificio para el sismo de diseño (sismo Raro).

El segundo estudio fue realizado por Dunn (2016) el cual fue titulado “Rehabilitación Estructural de la Facultad de Ingeniería mediante Aisladores Sísmico”. Este estudio tuvo como objetivo determinar una solución estructural mediante un sistema de aislación sísmica. Antes de ello, se corrigió el modelo estructural realizados por Loor (2015) y se determinó los puntos de desempeño sísmico mediante métodos manuales en lugar de obtenerlos por el programa Etabs 2015. Debido a que la norma exige el chequeo del desempeño sísmico del sistema de aislación para el sismo de Diseño (Raro) y el sismo Máximo Probable (Muy Raro), este trabajo comparo el desempeño sísmico del edificio original y rehabilitado para estos 2 niveles sísmicos.

2.2 NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA (NEC 15, 2015).

Para el diseño por desempeño de las estructuras se establecen varios niveles de amenaza sísmica. Estos niveles están especificados en la sección 4.3.2 de la NEC 15.

Los niveles de amenaza sísmica clasifican los sismos según los niveles de peligro y periodo medio de retorno tal como en la tabla siguiente:

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno T_r (años)	Tasa anual de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro (extremo)	2%	2500	0.00040

Tabla 1. Niveles de amenaza sísmica (NEC 15, 2015).

En donde cada nivel de sismo tiene su sismo característico, que se explicará a continuación:

- 1. Frecuente (sismo menor):** se esperará que no ocurra ningún daño tanto en los elementos estructurales como en los no estructurales, con periodo de retorno de 72 años.
- 2. Ocasional (sismo moderado):** se esperará que la estructura trabaje en el límite de su capacidad resistente elástica, es decir la estructura como tal no sufre daño, pero sí hay daño en los elementos no estructurales, con periodo de retorno de 225 años.
- 3. Raro (sismo severo):** se esperará cierto grado de daño en los elementos estructurales y un daño considerable en los elementos no estructurales, con periodo de retorno de 475 años.

4. Muy raro (sismo muy severo): se esperará prevenir el colapso de la estructura, con periodo de retorno de 2500 años.

2.3 ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA SEGÚN NEC 15.

Un espectro de respuesta elástica es una gráfica que representa las aceleraciones S_a expresadas como una fracción de la aceleración de la gravedad vs el período de vibración de la estructura para un nivel de sismo en estudio.

Los espectros de respuesta elástico para los diferentes niveles de amenaza sísmica se construyen mediante un espectro sísmico elástico de aceleraciones especificado en la Sección 3.3 de la NEC 15, la cual se muestra en la Figura 1.

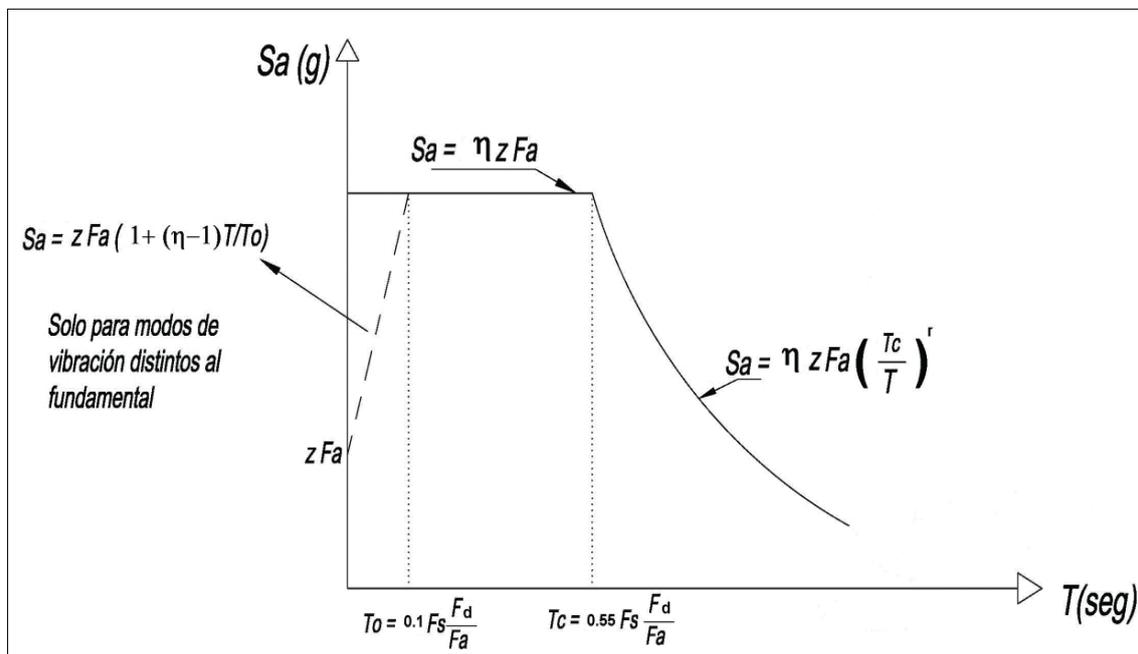


Figura 1. Espectro de respuesta para diseño (NEC 15, 2015).

Factor de Zona (z)

El factor de zona, z , se obtiene de la Curva de Peligro Sísmico del sitio en estudio. Este valor representa la máxima aceleración del suelo, PGA (por sus siglas en inglés), para una tasa anual de excedencia requerida.

Factor η

Este factor relaciona la aceleración espectral a $T=0.1$ seg con el PGA para el periodo de retorno en estudio.

Factor r

Este factor depende del tipo de suelo donde está ubicado el proyecto y es igual a 1.5 para los suelos tipo E y 1.0 para el resto de tipos de suelo.

Factores F_a , F_d y F_s

Estos factores dependen de la zona sísmica y el tipo de suelo donde se ubica el proyecto. La zona sísmica se establece mediante la gráfica de la figura 1 y las tablas 3, 4 y 5 de la NEC-15. A continuación se muestra el mapa del Ecuador con cada una de las zonas sísmicas y las tablas con los factores F_a , F_s y F_d .

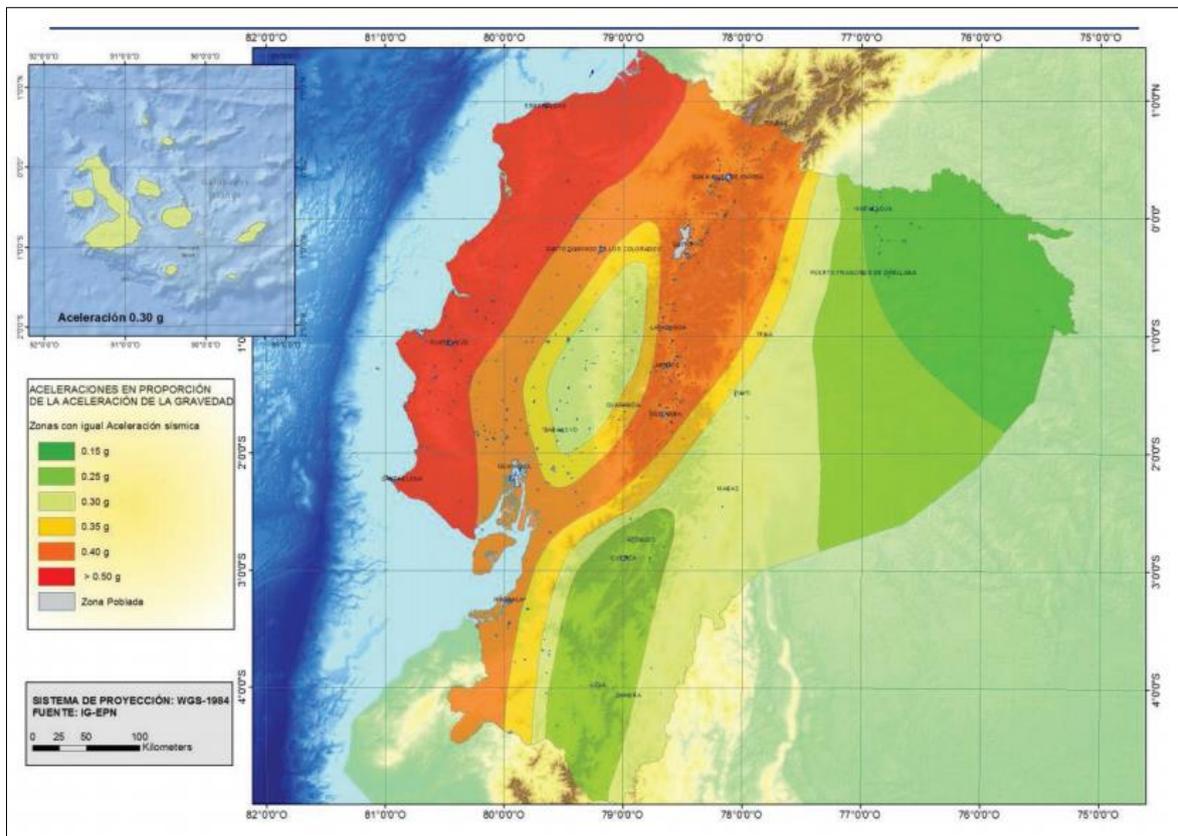


Figura 2. Mapa del Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z (NEC 15, 2015).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 2. Tipo de suelo y Factores de sitio Fa (NEC 15, 2015).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 3. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd (NEC 15, 2015).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 4. Tipo de suelo y Factores de sitio F_s (NEC 15, 2015).

2.4 AISLACIÓN SÍSMICA

La aislación sísmica es un sistema que tiene como propósito reducir los efectos de los sismos en las estructuras o edificios mediante disipación de energía. Esta disipación se logra gracias a la flexibilidad de los aisladores y su capacidad de resistir cargas axiales a grandes deformaciones. Este comportamiento, normalmente histérico, reduce las fuerzas que actúan sobre la estructura, mejorando su respuesta sísmica. La reducción de la respuesta mediante aisladores sísmicos puede ser esquemáticamente explicada como un aumento del periodo de vibración de la estructura y un aumento en el amortiguamiento del sistema.

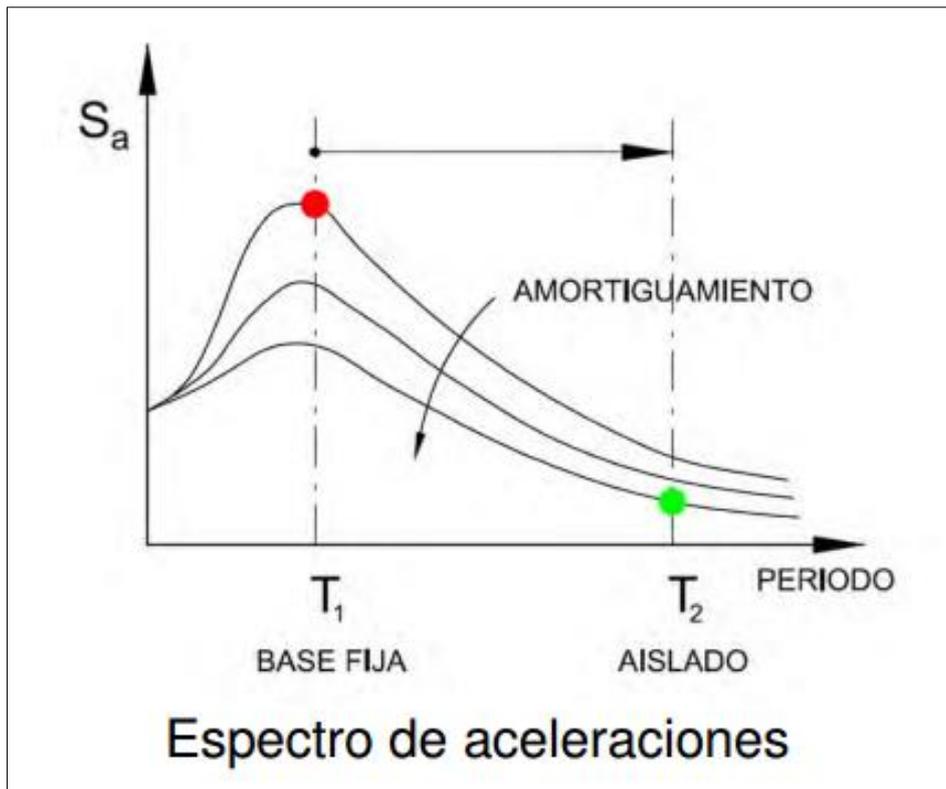


Figura 3. Efecto de las aceleraciones espectrales usando aisladores sísmicos.

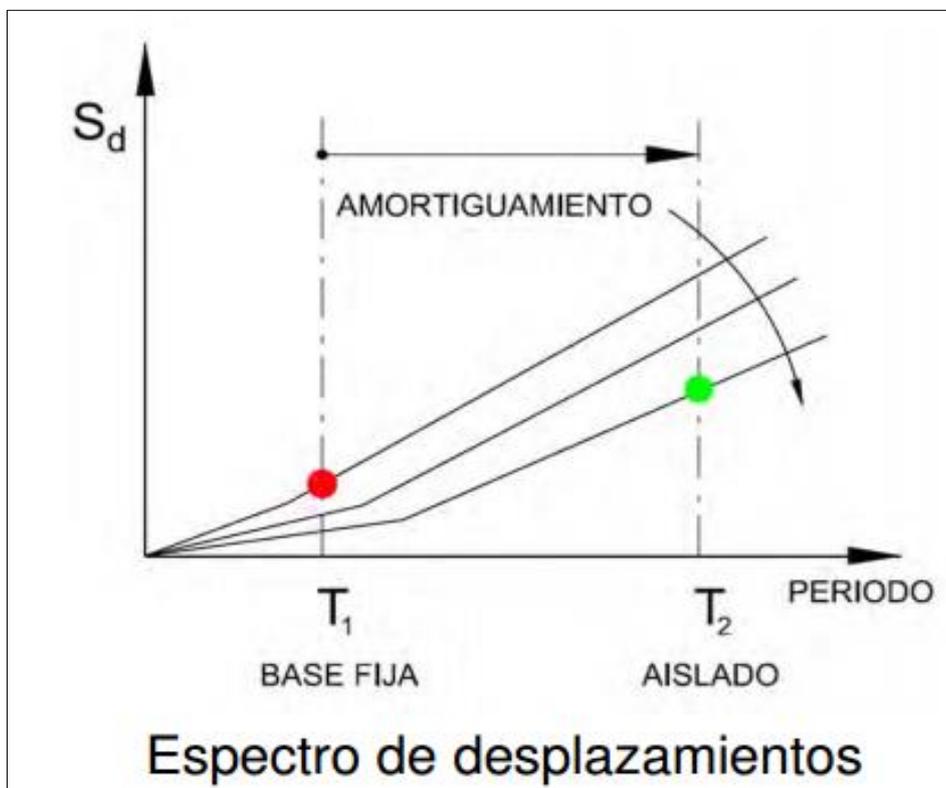


Figura 4. Efecto de los desplazamientos usando aisladores sísmicos.

Además de reducir la respuesta de la estructura, la alta flexibilidad del sistema de aislación en comparación con la estructura, permite que la estructura del edificio sobre el sistema de aislación se mueva como cuerpo rígido evitando deformaciones diferenciales entrepisos, lo que reduce los daños estructurales y no estructurales.

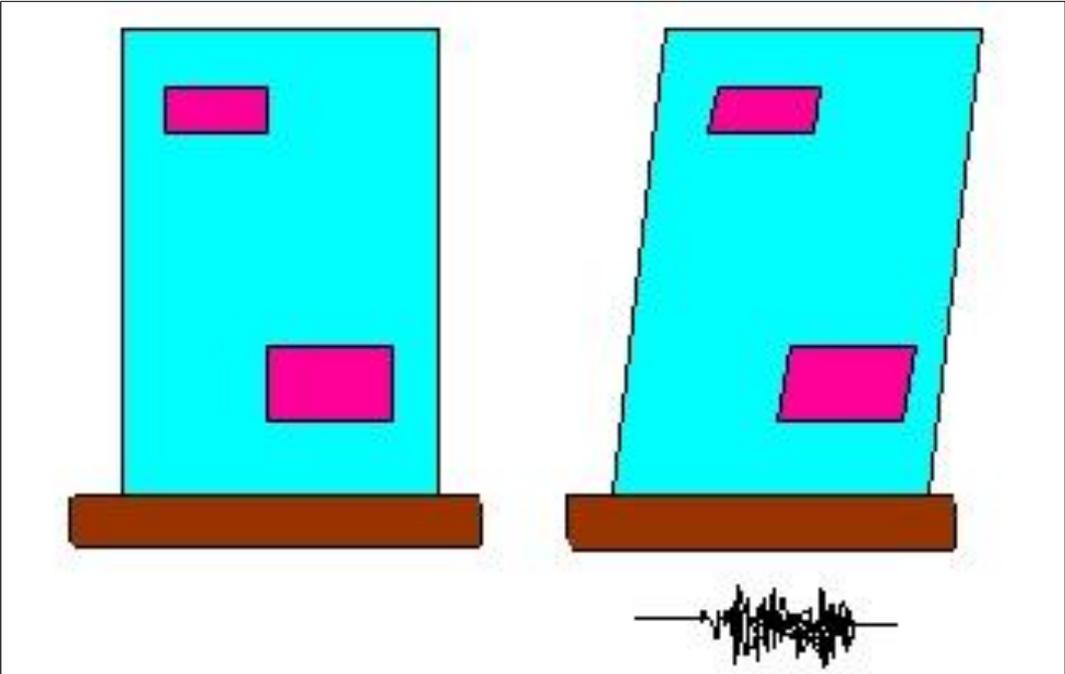


Figura 5. Comportamiento dinámico de un edificio sin aislación sísmica.

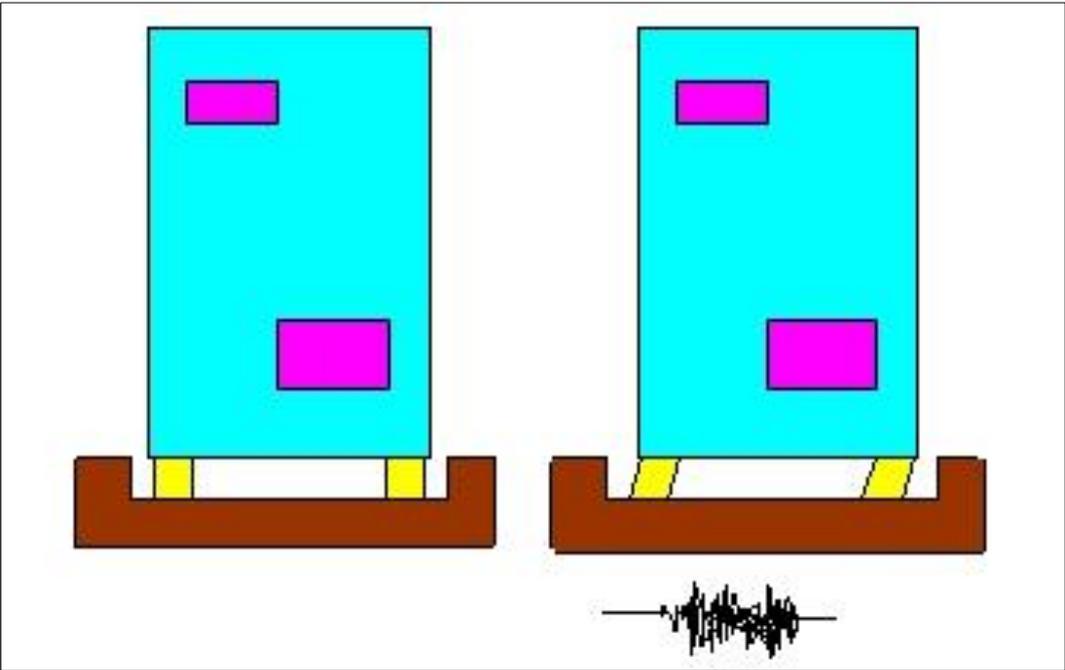


Figura 6. Comportamiento dinámico de un edificio con aislación sísmica.

2.5 ESCALAMIENTO DE UN REGISTRO SÍSMICO PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.

Para realizar un análisis No-lineal Historia en el Tiempo es necesario del uso de registros sísmicos. Para evaluar a la estructura a diferentes niveles sísmicos estos registros deben ser escalados de tal manera que produzcan aceleraciones similares a las esperadas en los espectros del nivel sísmico en estudio.

Por simplificación, los registros se escalarán de tal manera que las aceleraciones espectrales del registro y la aceleración del espectro del nivel sísmico en estudio coincidan para el periodo de vibración principal de la estructura.

Este procedimiento se considera apropiado para estructuras con aislación sísmica donde el periodo de vibración principal está influenciado mayormente por el periodo de vibración del sistema de aislación, y que normalmente es mucho mayor al periodo de vibración de la estructura sobre el sistema de aislación.

Por otra parte, este método no es tan realista para estructuras sin aislación, ya que la respuesta estructural está influenciada por varios modos de vibración. Esto implica que el método de escalamiento al periodo de vibración principal únicamente, no capture los efectos de la combinación modal con los modos secundarios de vibración de la estructura.

2.6 ANÁLISIS NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA (Etabs 2015 – Analysis Reference Manual).

El análisis No-lineal Historia de la Respuesta es un análisis paso a paso de la respuesta dinámica de una estructura sometida a una carga especificada que puede variar con el tiempo. En el caso de eventos sísmicos la carga especificada se calcula por medio de la definición de la aceleración del suelo.

La no-linealidad de los elementos de la estructura puede ser considerada por medio de rótulas plásticas (hinges) o elementos tipo “links” y estas pueden ser no-linealidad del material o no-linealidad geométrica. En el caso de los estudios anteriores del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil (Loor 2015 y Dunn 2016) y este estudio, se asignaron rótulas plásticas a cada uno de los elementos.

El programa de elementos finitos Etabs 2015 permite el uso 2 métodos para el análisis No-lineal Historia en el Tiempo: Modal o FNA (Fast Nonlinear Analysis) e Integración Directa.

El análisis FNA emplea técnicas de agrupación de elementos no-lineales para desacoplarlos de los elementos que permanecen elásticos. Para ello es conveniente la existencia de un número limitado (y concentrado) de elementos no-lineales. Esta técnica reduce, en algunos casos, el tiempo de procesamiento de resultados. En versiones anteriores del programa Etabs, este análisis estaba restringido a elementos tipo "link".

Este análisis realiza la integración directa de las ecuaciones de movimiento sin superposición modal. Entre las ventajas del uso de este método está el análisis de amortiguamiento acoplado de los modos de vibración y la consideración de una mayor cantidad de fuentes de no-linealidad. Este método es muy sensible al tamaño del paso del análisis, por lo que la precisión deseada puede requerir muchas horas de análisis.

La Integración Directa tiene una variedad de métodos disponibles en el programa Etabs 2015 para la realización del análisis No-lineal Historia en el Tiempo. El programa por defecto y sugerido por la ONU emplea el método "Hilber-Hughes-Taylor" (HHT) para el cual se utiliza un único parámetro llamado alfa. Este parámetro puede tomar valores entre 0 y -1/3.

Para $\alpha = 0$, el método es equivalente al método de Newmark con $\gamma = 0,5$ y $\beta = 0,25$, que es el mismo que el método de la aceleración media (también llamada la regla trapezoidal.) El uso de $\alpha = 0$ ofrece la más alta precisión entre todos los métodos, pero puede permitir vibraciones excesivas en los modos de frecuencia. Esos modos tienen periodos del mismo orden o menor que el tamaño del paso de tiempo (Etabs 2015).

Para valores más negativos de alfa, los modos de frecuencia más altos se amortiguan severamente. Esto no es amortiguación física, ya que disminuyen a medida que se utilizan más pequeños pasos de tiempo. Sin embargo, a menudo es necesario utilizar un valor negativo de alfa para fomentar una solución no lineal convergente (Etabs 2015).

Por lo tanto, si el análisis no lineal está teniendo problemas convergentes, es posible que deba utilizar en el método de HHT un alfa = $-1/3$ para obtener una solución inicial, a continuación, volver a ejecutar el análisis con la disminución del tamaño de los pasos de tiempo y valor alfa para obtener resultados más precisos (Etabs 2015).

También se recomienda que, para obtener los mejores resultados, se debe utilizar en la practica el más pequeño paso de tiempo y seleccionar el alfa tan cerca de cero como sea posible. Además, de probar con diferentes valores de alfa y tamaño de paso de tiempo para asegurarse de que la solución no depende demasiado de estos parámetros (Etabs 2015).

CAPÍTULO 3: COMPARACIÓN ENTRE UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL CON UN ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL.

3.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se comparará el Análisis Estático No Lineal o Pushover del edificio de la facultad de Ingeniería presentado en un trabajo anterior por Dunn (2016) titulado “Rehabilitación Estructural de la Facultad de Ingeniería mediante aisladores sísmicos” con un Análisis Dinámico No-Lineal Historia de la Respuesta.

Primero se calculará los espectros de respuesta elástico para diferentes niveles de amenaza sísmica según lo indicado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 15. Luego se elegirá un registro sísmico el cual será escalado al período aislado para el edificio con aislación para diferentes niveles de amenaza sísmica.

Se obtendrá la curva cortante basal versus desplazamiento relativo de la estructura sobre el sistema de aislación y el desplazamiento del sistema de aislación.

Finalmente, se determinará el desempeño sísmico del edificio para cada uno de los niveles sísmicos en estudio.

3.2 ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA EN ESTUDIO.

Siguiendo la metodología explicada en la Sección 2.3 de este trabajo, se calculará el espectro de respuesta elástica para diferentes niveles de amenaza sísmica: frecuente, ocasional, raro y muy raro.

En esta sección se presentará como ejemplo el cálculo del espectro elástico para el sismo Muy Raro. El cálculo de los espectros elásticos para los otros niveles de amenaza sísmica se mostrará en el Anexo Apéndice A.

Para el cálculo de los espectros elásticos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, se han considerado las curvas de peligro sísmico de la ciudad de Guayaquil y se ha considerado suelo Tipo D. De acuerdo a la Tabla 9 de la NEC-15, la tasa anual de excedencia para el sismo Muy Raro es de 0.0004. De la Figura 7, se obtienen la aceleración máxima del suelo y la aceleración para estructuras periodos de vibración de 0.1 seg. Con estos valores se obtienen los coeficientes Z y η como se muestra a continuación:

- Aceleración máxima en el terreno $Z = 0.65$
- $S_a = 1.08 \Rightarrow \eta = S_a/Z = 1.08 / 0.65 = 1.66$

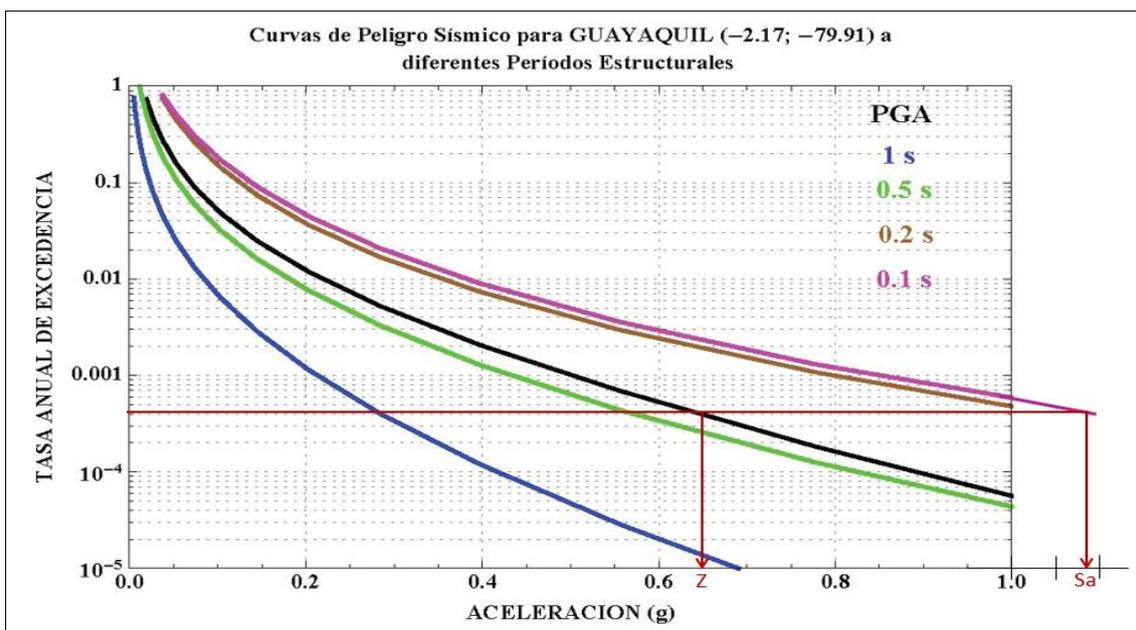


Figura 7. Curvas de peligro sísmico para Guayaquil, con los nuevos valores de Z y S_a (NEC 15, 2015).

Los factores r , F_a , F_d y F_s se obtienen de la siguiente manera:

- El factor r es igual a 1 debido a que el proyecto está ubicado sobre un suelo tipo D.
- De la Tabla 2, 3 y 4 de este trabajo (Tabla 3, 4 y 5 NEC-15) se obtiene los coeficientes de amplificación del suelo F_a , F_d , F_s son correspondientes al suelo tipo D y Zona sísmica V- Alta:
 - ✓ $F_a = 1.12$
 - ✓ $F_d = 1.11$
 - ✓ $F_s = 1.4$.

En la Figura 8 se muestra el espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Muy Raro.

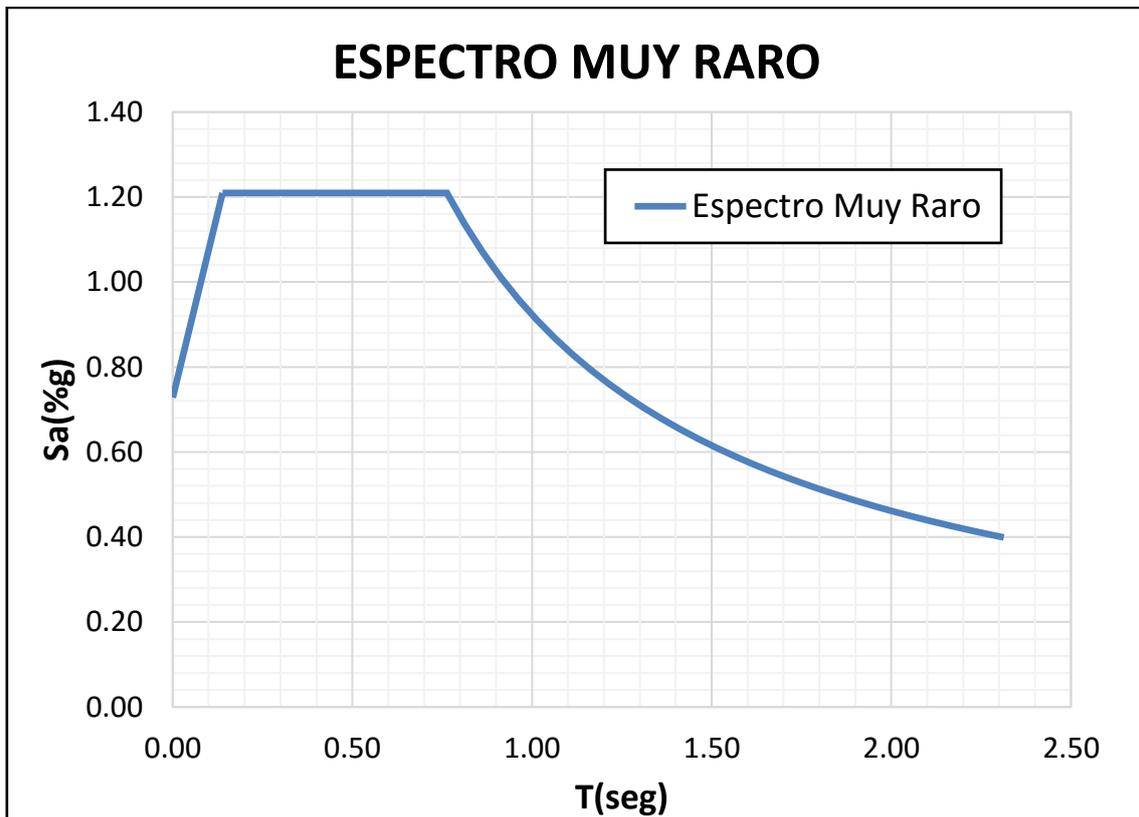


Figura 8. Espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Muy Raro.

Como se indicó anteriormente, el cálculo de los espectros elásticos para los otros niveles sísmicos se muestra en el Anexo Apéndice A. En la Figura 9 se muestran los espectros elásticos para todos los niveles sísmicos en estudio.

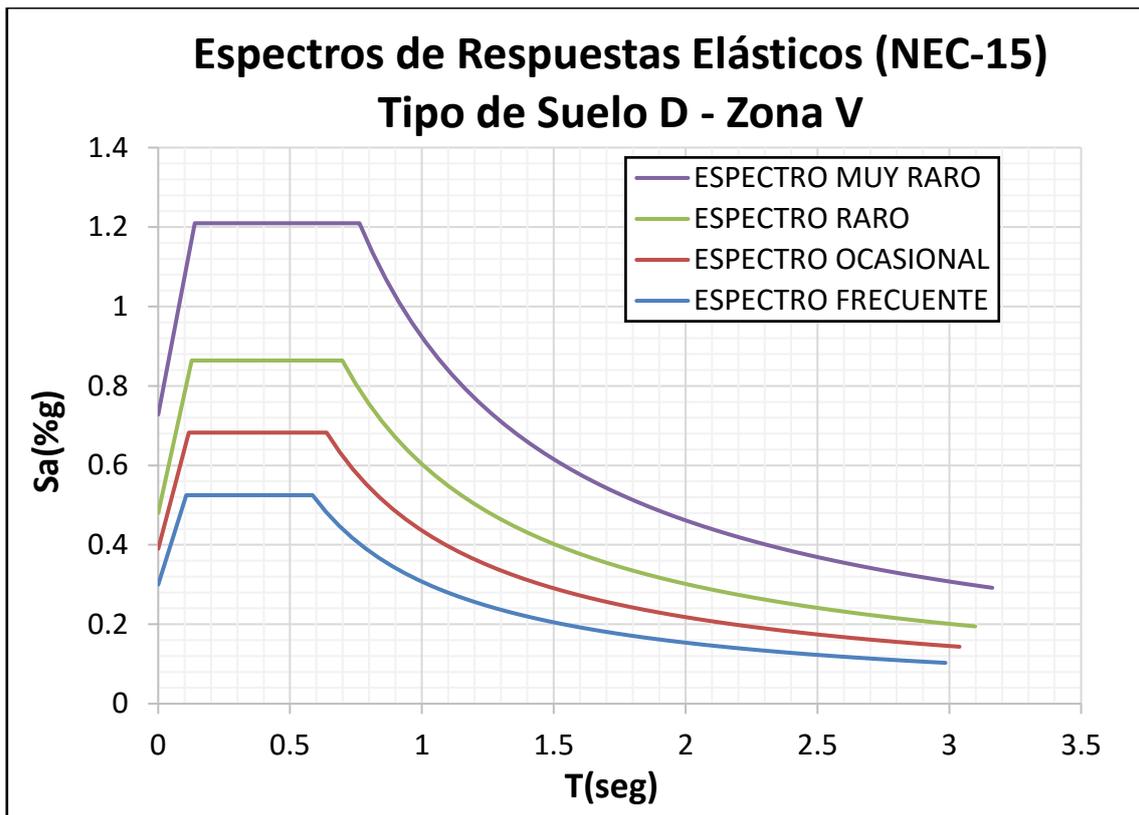


Figura 9. Espectros de respuesta elástica en suelo tipo D y zona sísmica V para los distintos niveles de amenaza sísmica según NEC 15.

3.3 ESCALAMIENTO DE UN REGISTRO SÍSMICO PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA EN ESTUDIO.

En este trabajo se estudiarán los registros sísmicos de 7 sismos ocurridos en diferentes lugares, los cuales se originaron por fallas de subducción y corresponden a un suelo intermedio y duro serán aplicados al edificio con el sistema de aislación.

Los primeros 6 registros sísmicos son de sismos extranjeros y el último es un registro capturado en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas del terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016 con epicentro entre las parroquias Pedernales y Cojimíes del cantón Pedernales, de la provincia de Manabí - Ecuador.

Los registros sísmicos que se estudiarán son los siguientes:

1. Llallay_Valp, de Chile para un tipo de suelo duro.
2. Valparaiso_Valp, de Chile para un tipo de suelo duro.
3. Vina200os, de Chile para tipo de suelo duro.

4. Ica2-EO, de Perú para un tipo de suelo duro.
5. Lolloe1, de Chile para un tipo de suelo duro.
6. Melipilla-eo-os, de Chile para un tipo de suelo duro.
7. Asdo-N, de Ecuador capturado en Santo Domingo de los Tsáchilas para un tipo de suelo intermedio.

Como ejemplo, se mostrará la metodología para el escalamiento registro sísmico Valparaiso-Valp de Chile para un nivel de amenaza sísmica Muy Raro el cual fue calculado anteriormente en el Capítulo 3.2.

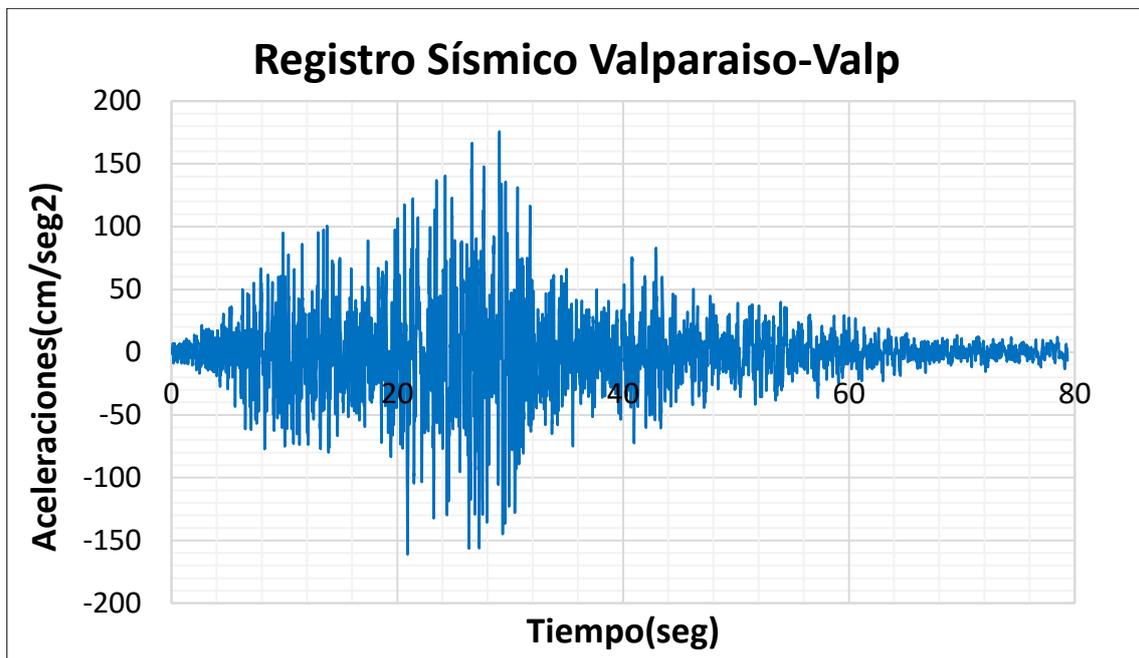


Figura 10. Registro sísmico Valparaiso-Valp.

Como primer paso, se obtuvo el espectro elástico no reducido del registro sísmico Valparaiso-Valp por medio del programa Step By Step. En la Figura 11 se muestra el espectro elástico de Valparaiso-Valp y el espectro elástico del sismo Muy Raro (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V.

El método de escalamiento, descrito en la sección 2.3, tiene como objetivo que las aceleraciones del registro en estudio (ejemplo: Valparaiso-Valp) se escale de tal manera que, para el periodo principal de la estructura, se obtenga la misma

aceleración que el espectro elástico para el cual se quiere escalar (ejemplo: Sismo Muy Raro).

Esto se observa en la Figura 11 Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.50 g.

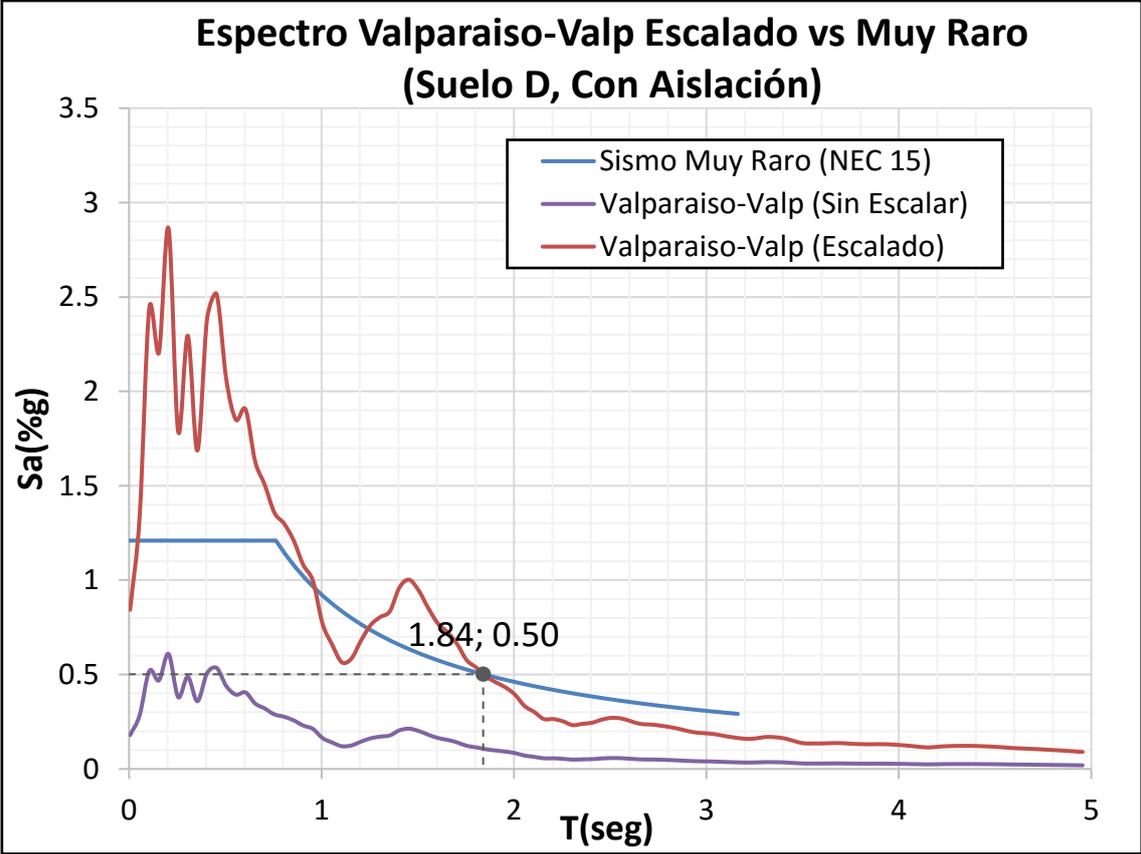


Figura 11. Espectro Valparaiso-Valp escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.

Esta metodología de escalamiento se la realizó para los 7 registros sísmicos en estudio y para los 4 niveles sísmicos definidos en la NEC-15, para el edificio rehabilitado (con aislación). El cálculo de los factores de escalamiento para los otros niveles sísmicos se muestra en el Anexo Apéndice B.

3.3.1 TABLAS RESUMEN DE LOS FACTORES DE ESCALAMIENTO PARA LOS DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.

En las Tablas 5 y 6 se muestran los factores de escalamiento para todos los registros y todos los niveles sísmicos, para el edificio con aislación.

FACTORES DE ESCALAMIENTO – EDIFICIO CON AISLACIÓN				
Registros Sísmicos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Llallay_Valp	1	1.46	2.05	3.05
Valparaiso_Valp	1.55	2.2	3.05	4.7
Vina200os	1	1.43	2	3.05
Ica2-EO	0.49	0.7	0.96	1.45
Llolleo1	0.66	0.92	1.27	1.95
Melipilla-eo-os	1.6	2.18	3.1	4.7
Asdo-N	8	11	15	22

Tabla 5. Factores de Escalamiento de los registros sísmicos para diferentes niveles sísmicos. Edificio con Aislación.

3.4 COMPARACIÓN DE LA CURVA CORTANTE BASAL VS. DESPLAZAMIENTO DEL ANÁLISIS DINÁMICO NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA CON EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL (PUSHOVER) (Dunn, 2016).

El comportamiento del edificio es representado por la curva cortante basal versus desplazamiento del último piso. En este estudio, la curva fue obtenida mediante un análisis No-lineal Historia de la Respuesta. Debido a problemas en el programa Etabs 2015 al momento de realizar un análisis No-lineal Historia de la Respuesta por el método de Integración Directa, se optó por analizar el edificio por el método FNA quitándole las rótulas plásticas a los elementos. Esto último fue considerado aceptable ya que el edificio aislado no llega a un alto grado de inelasticidad, aún para el sismo Muy Raro (Dunn, 2016).

En el trabajo realizado por Dunn (2016) se obtuvo la respuesta del edificio por medio de un análisis No-lineal Estático (Pushover). En dicho trabajo se calculó las curvas cortante basal versus desplazamiento del último piso para la dirección longitudinal (dirección X) y transversal (dirección Y) del edificio. Además, se analizó la estructura original (sin aislación) y la rehabilitada (sin aislación).

En este estudio se comparó la respuesta del edificio en un análisis No-lineal Estático (Dunn, 2016) con la de un análisis No-lineal Historia de la Respuesta. A continuación, se muestran las curvas cortante basal versus desplazamiento del último piso para todos los registros (7) en estudio y para las direcciones X y.

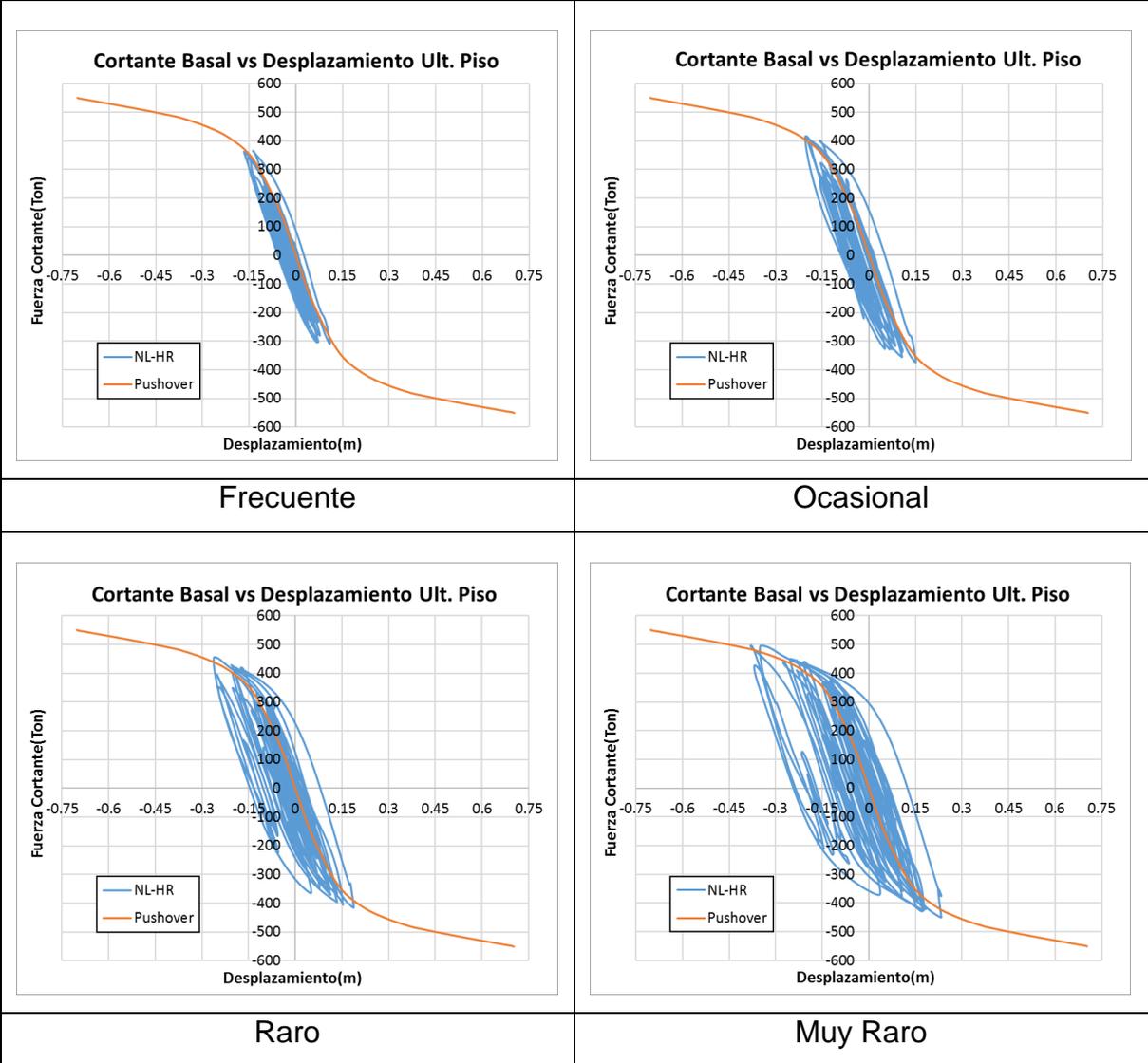
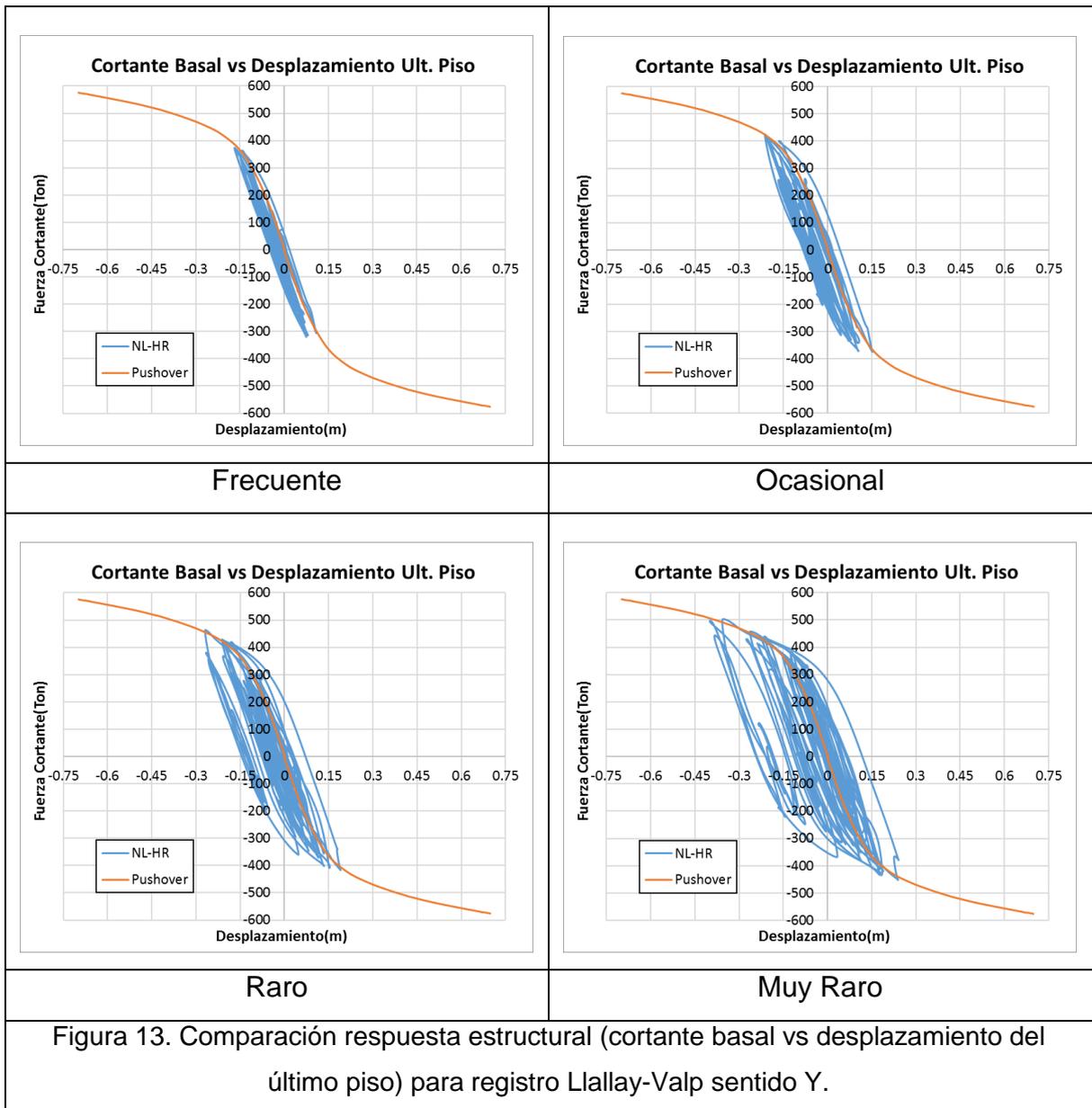
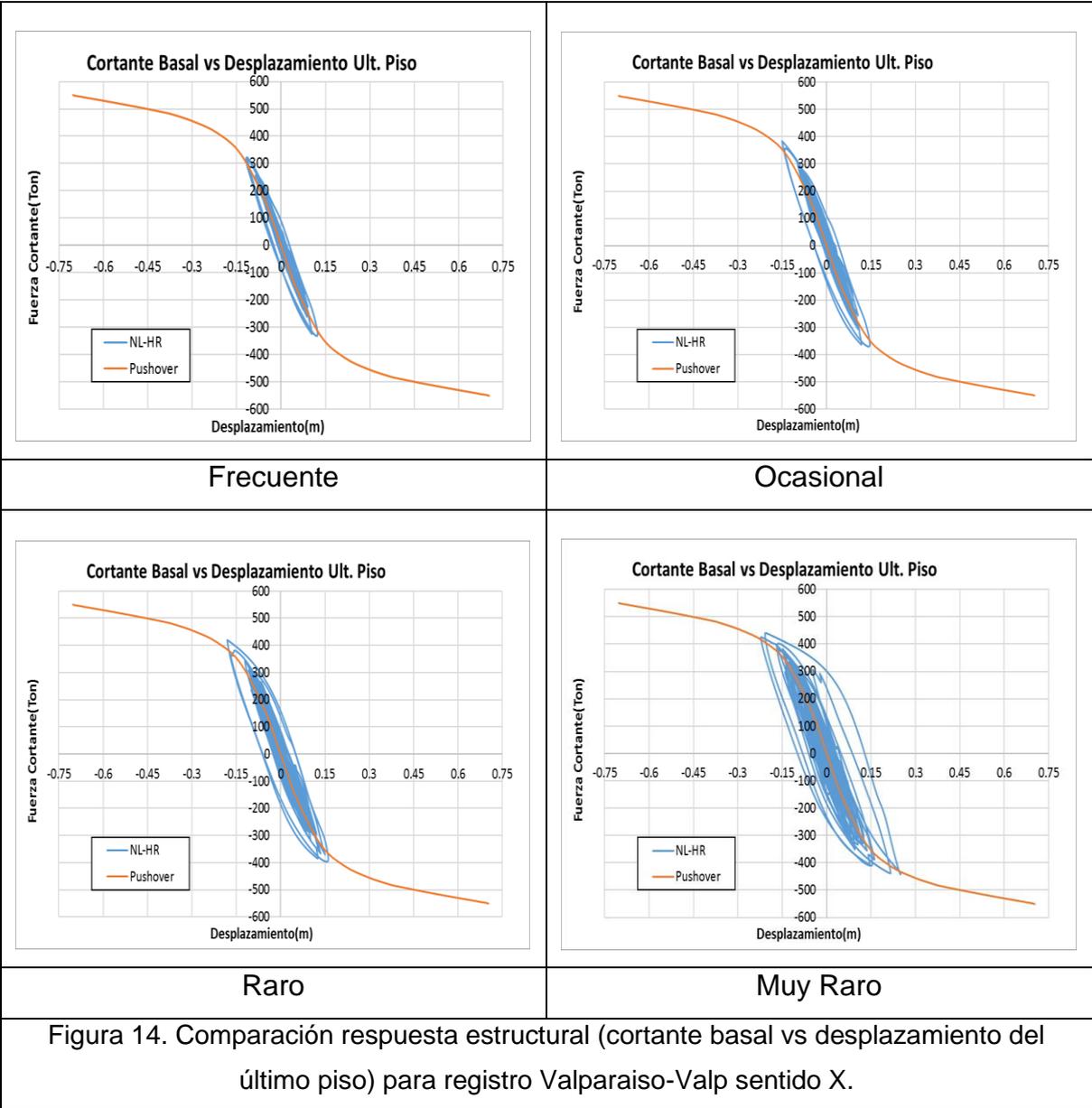


Figura 12. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Llalayo-Valp sentido X.





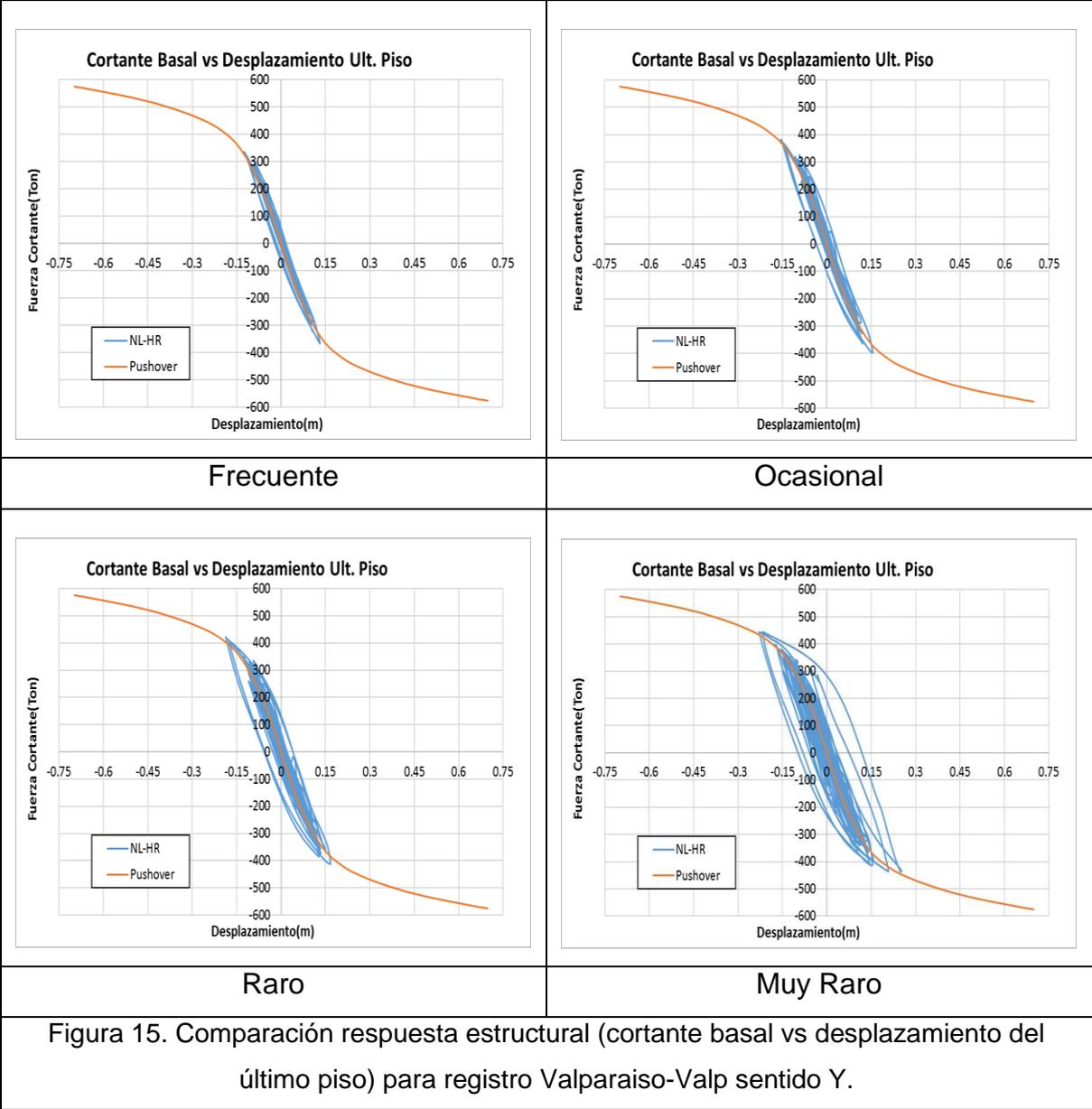
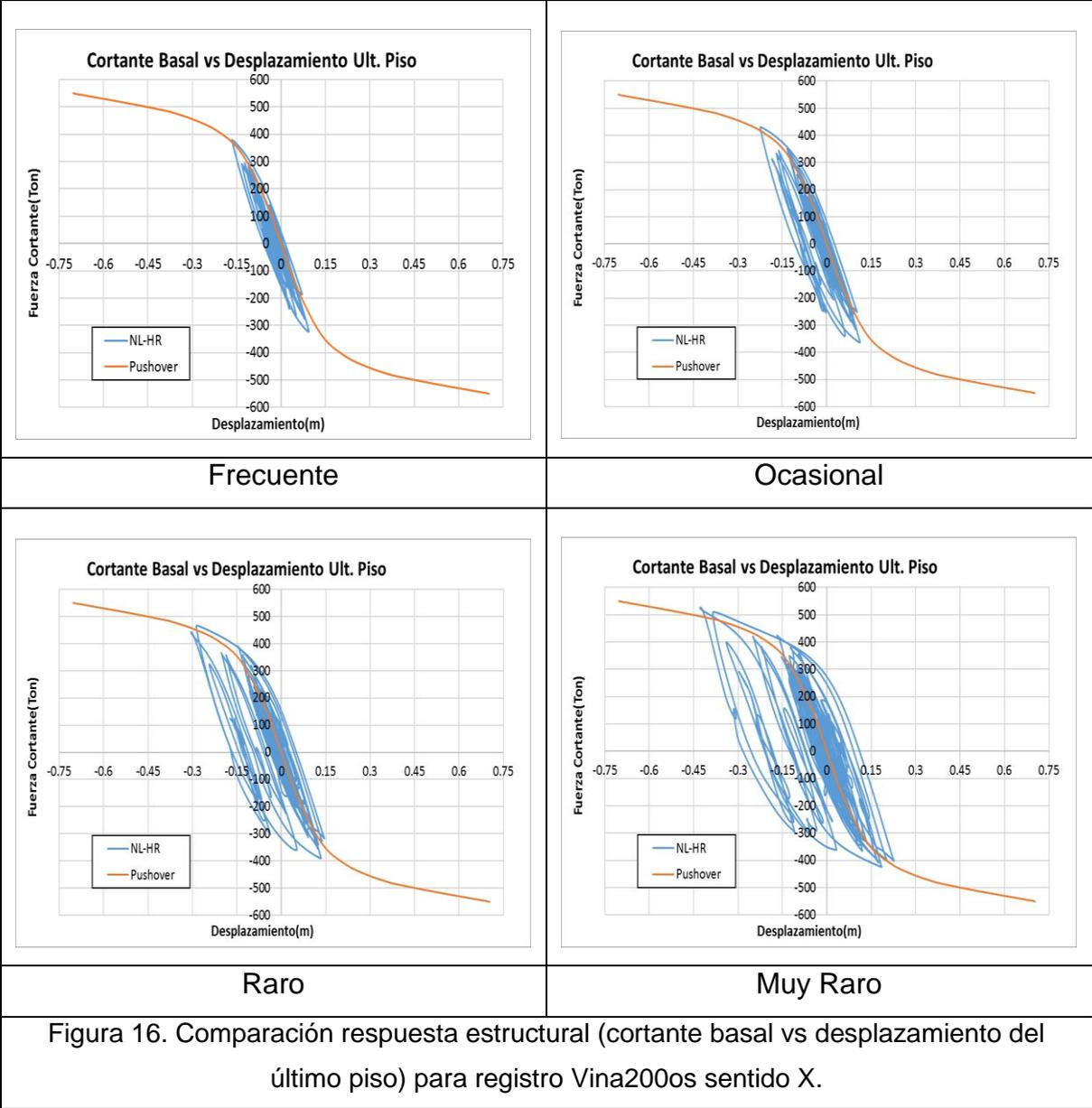
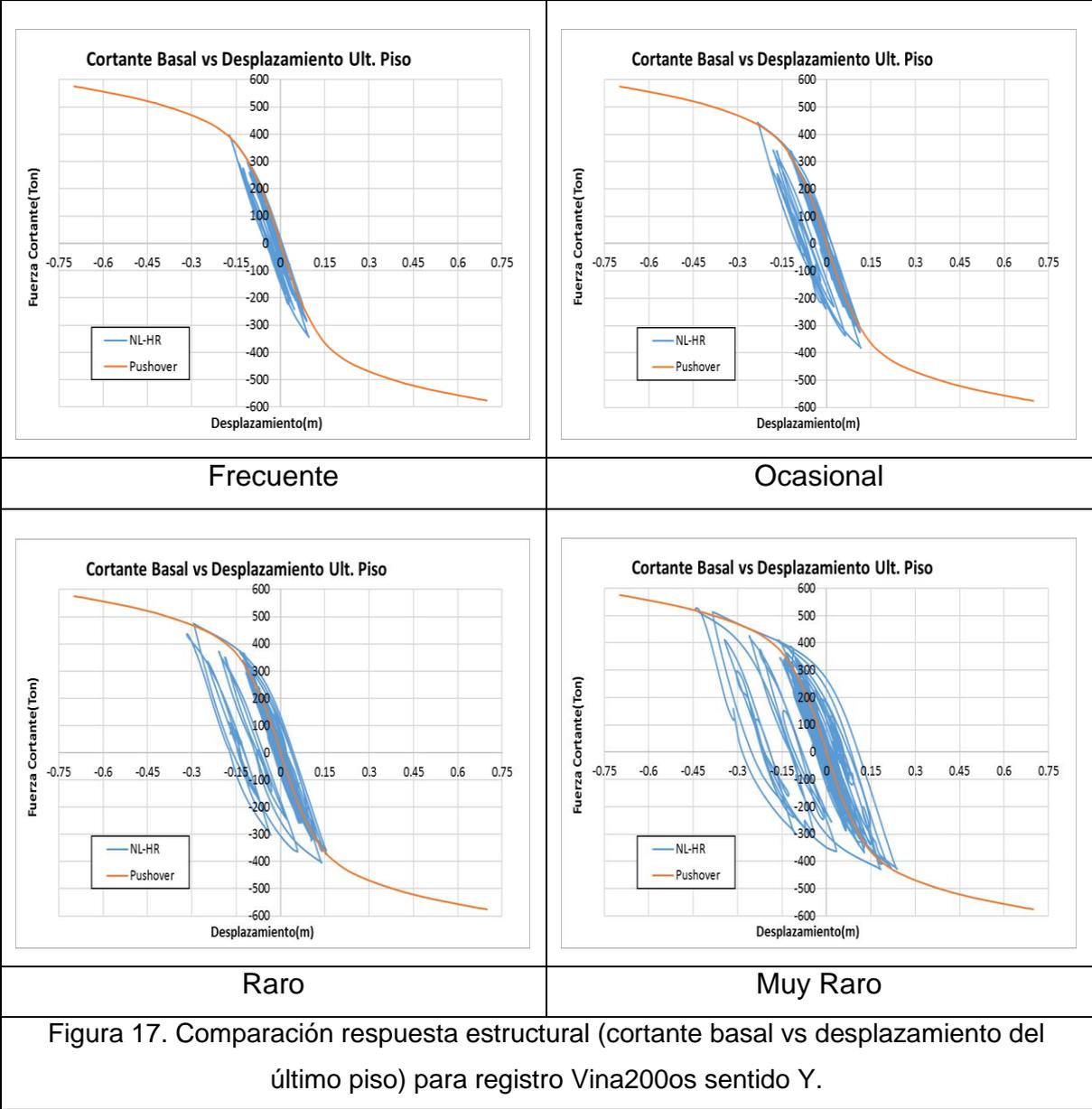
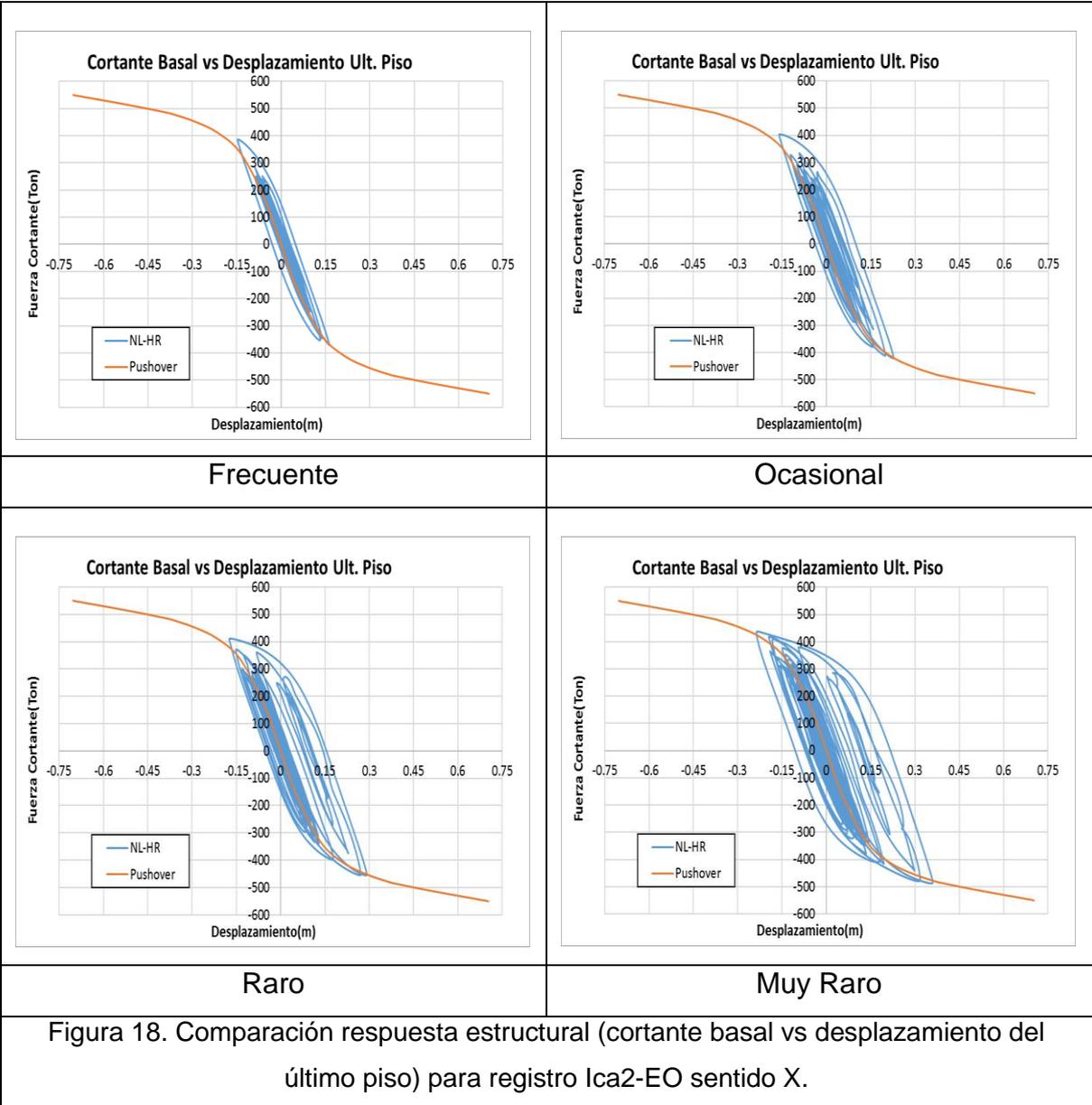
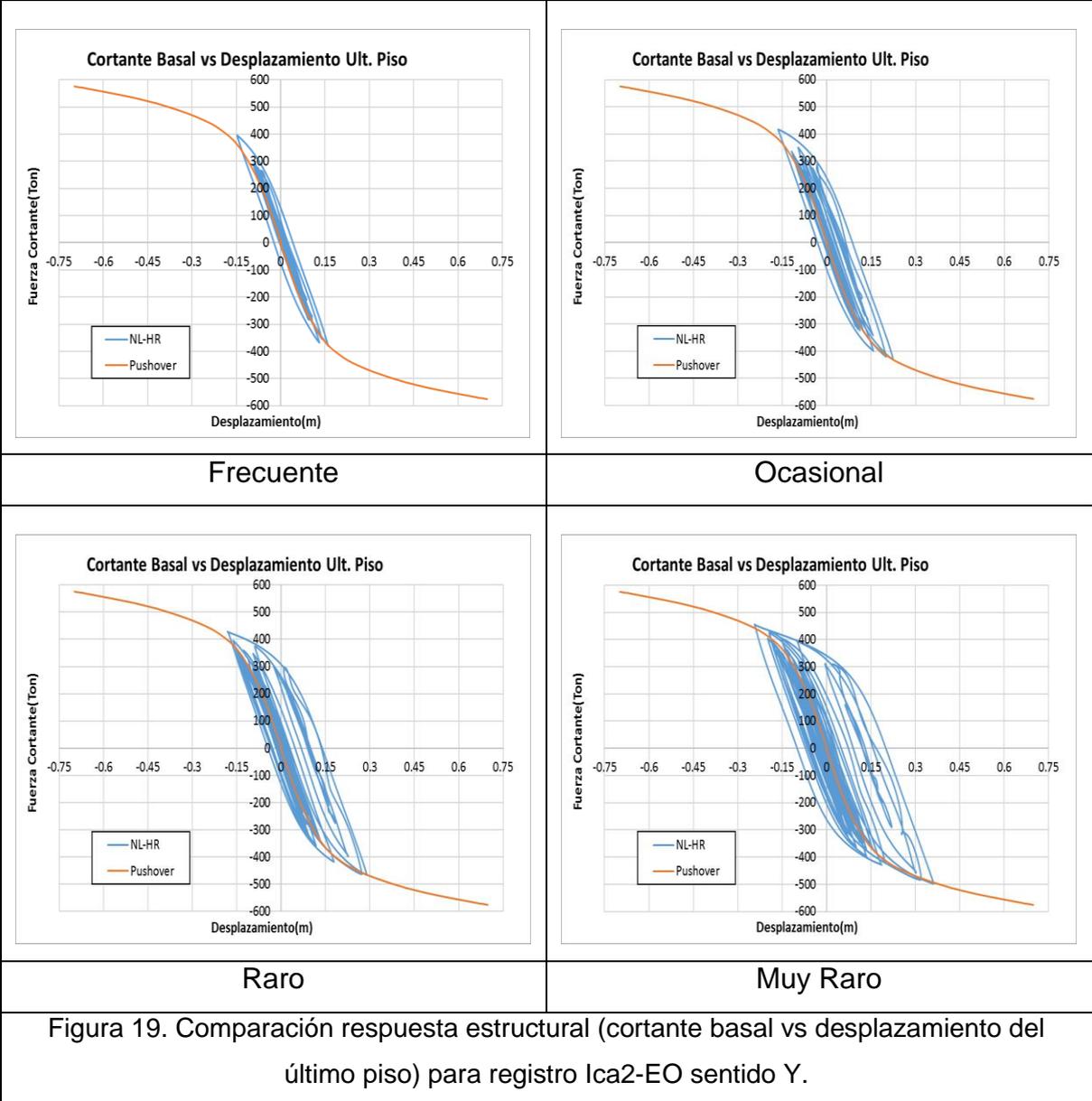


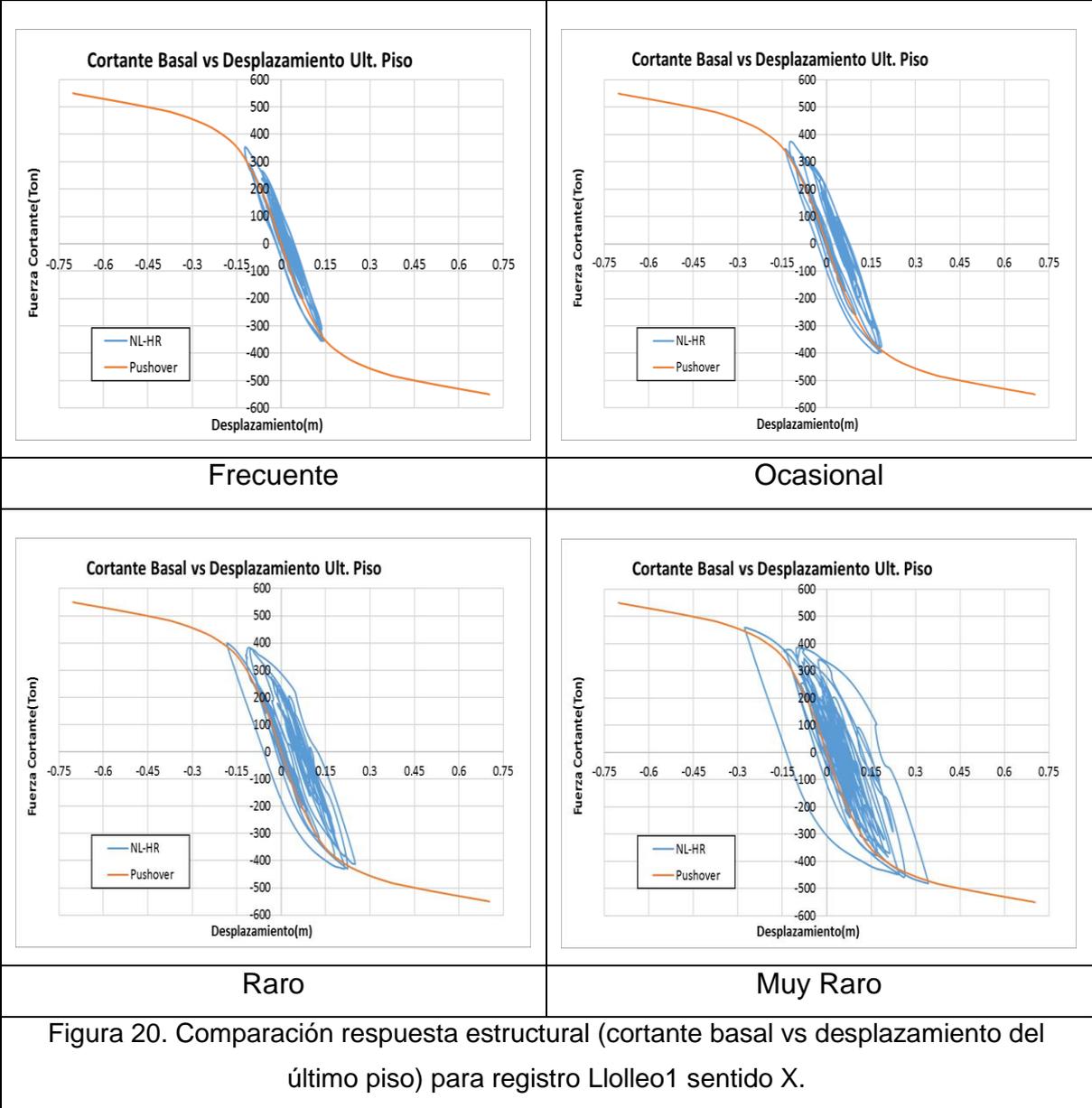
Figura 15. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Valparaiso-Valp sentido Y.

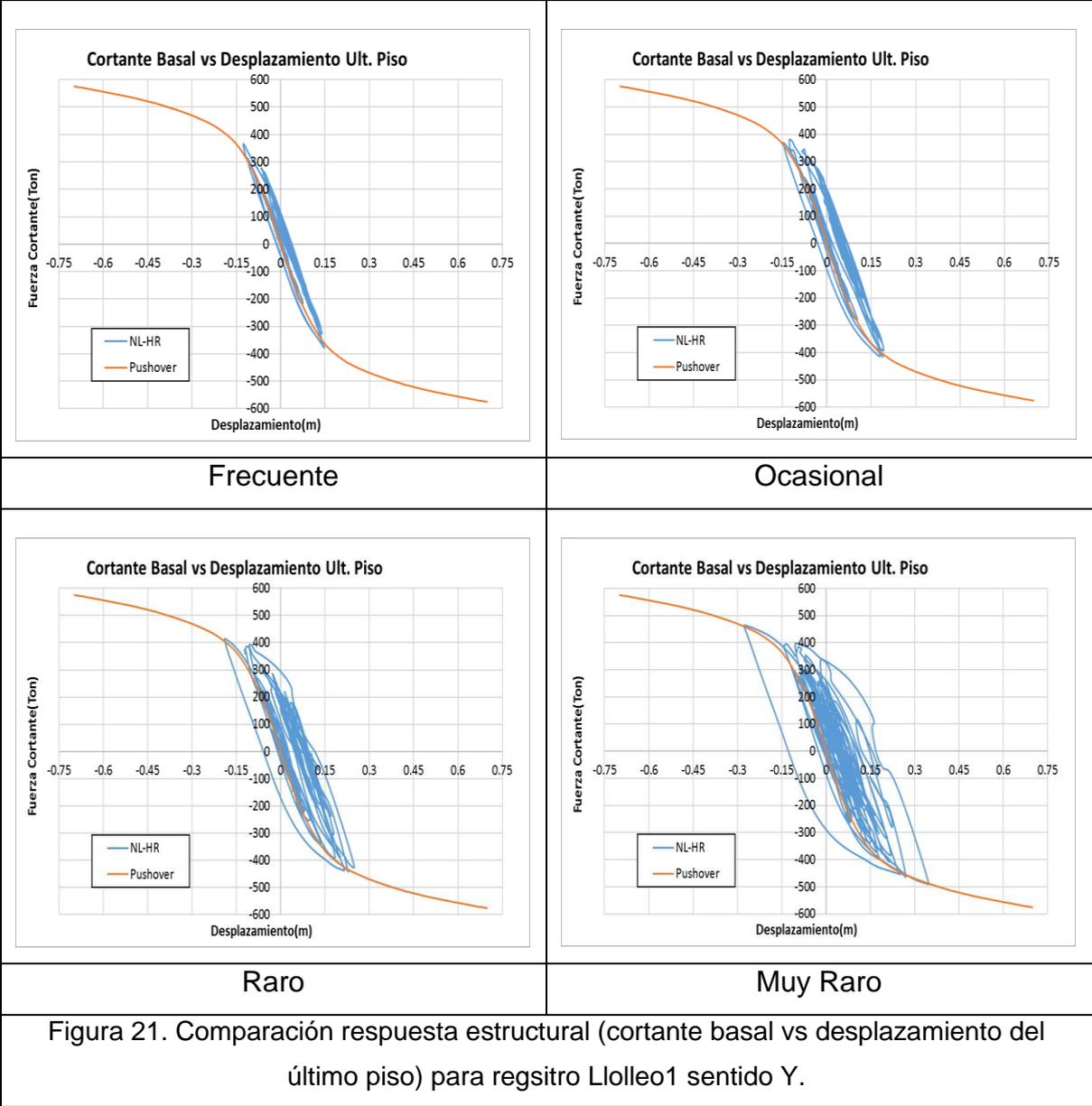


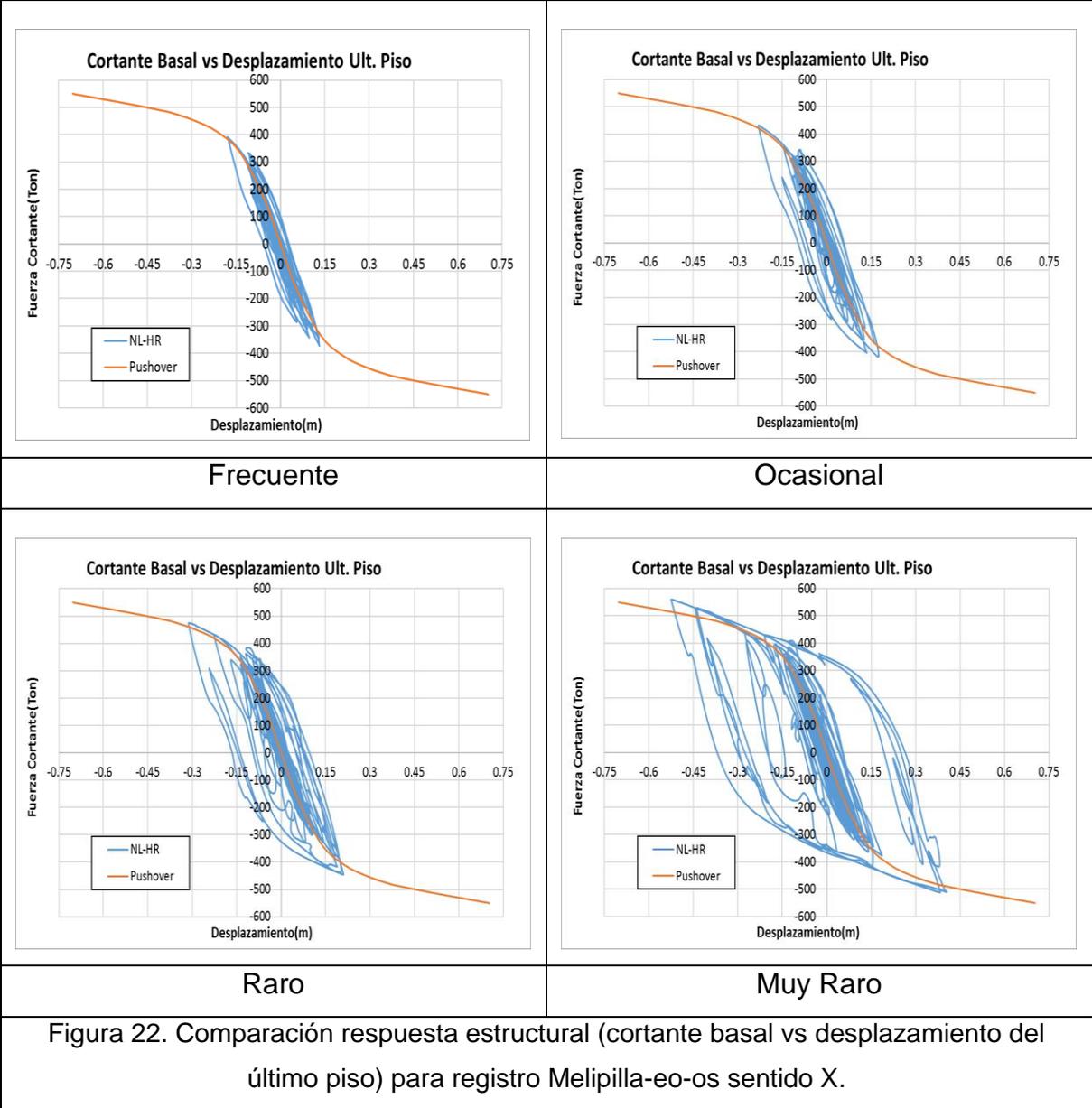


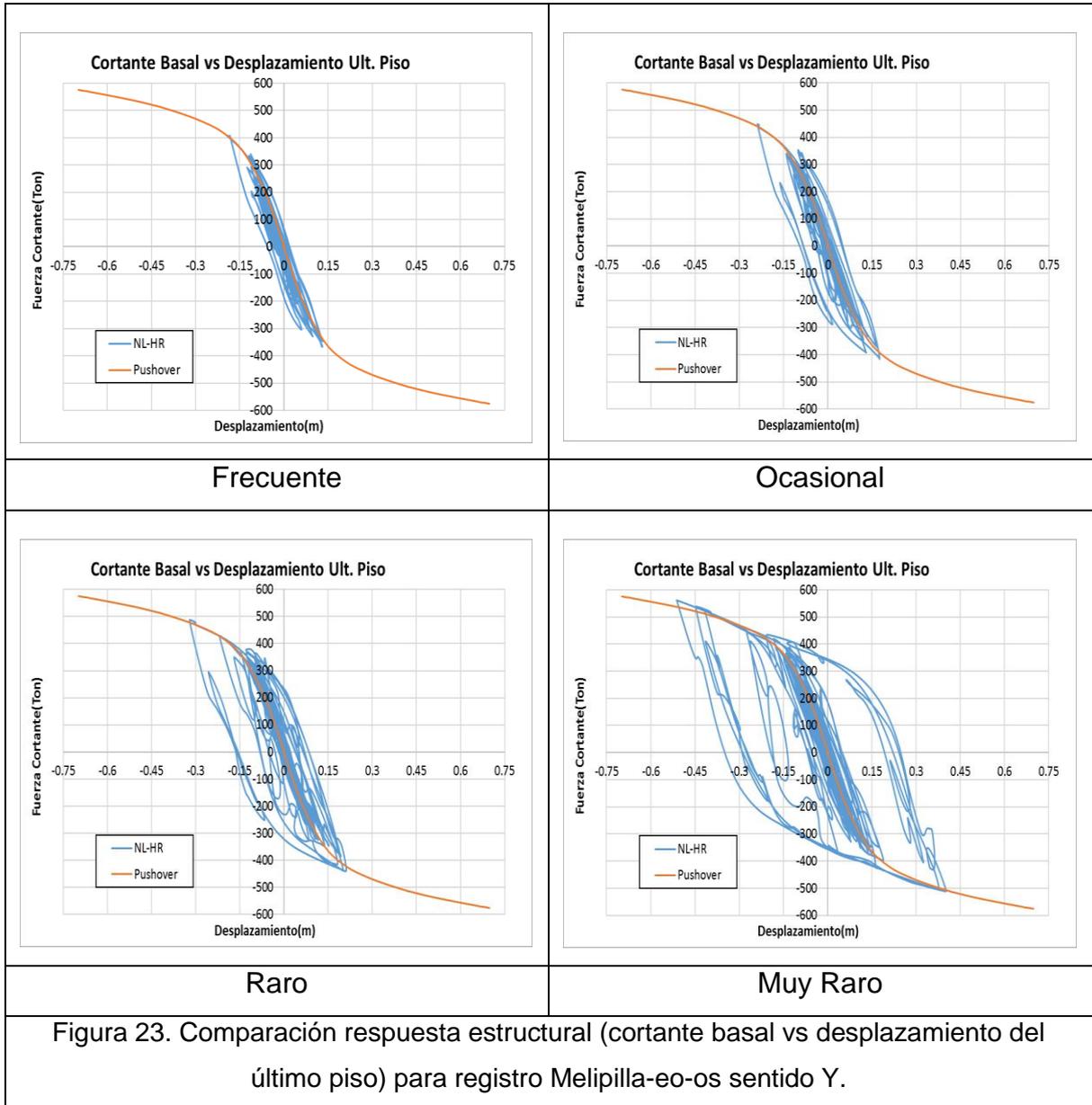


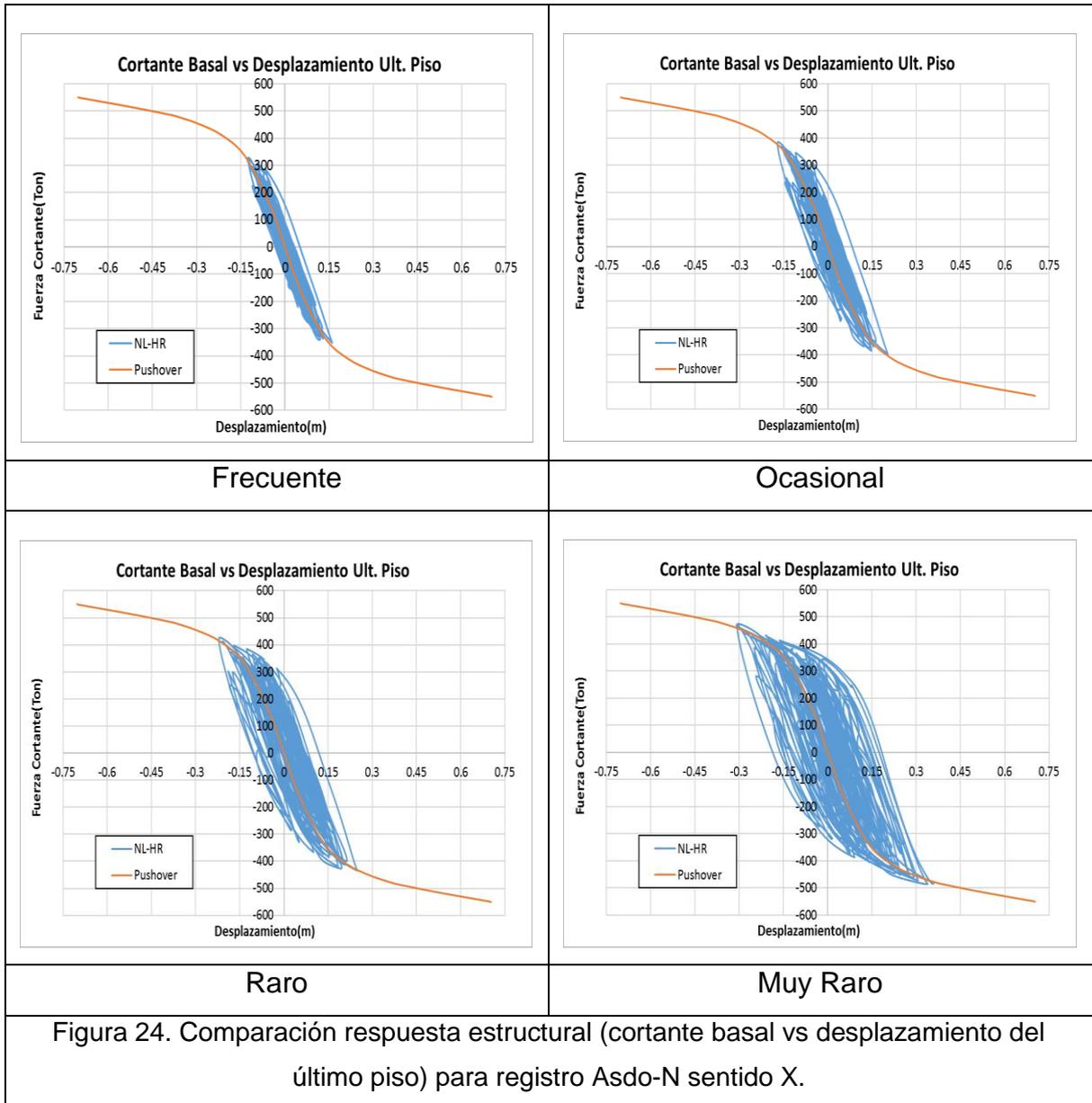












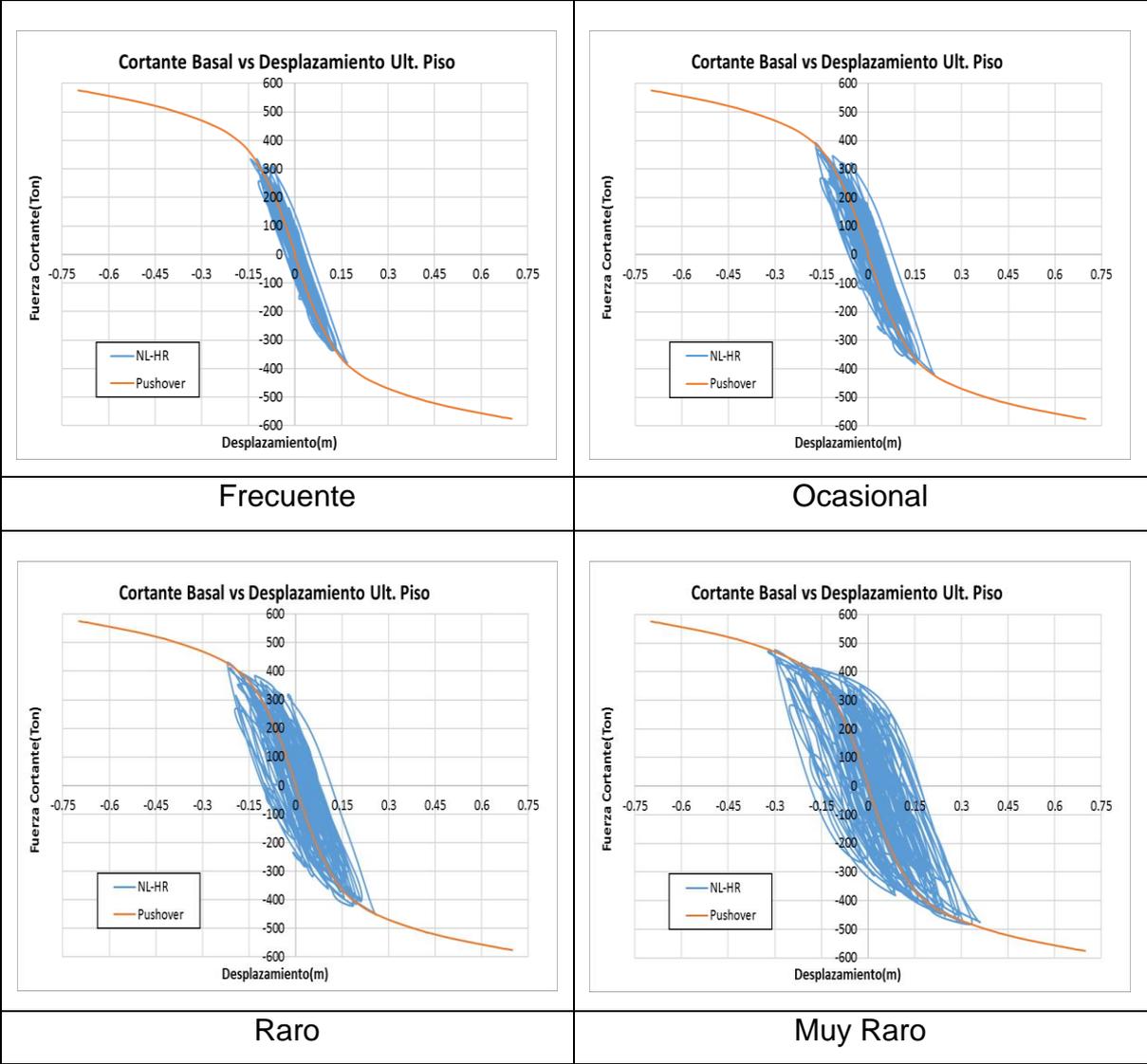


Figura 25. Comparación respuesta estructural (cortante basal vs desplazamiento del último piso) para registro Asdo-N sentido Y.

3.5 DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO DE LA ESTRUCTURA SOBRE EL SISTEMA DE AISLACIÓN PARA VARIOS NIVELES SÍSMICOS.

Para determinar el desempeño del edificio rehabilitado (con aislación) se calculará el desplazamiento relativo de la estructura sobre el sistema de aislación. Este desplazamiento se calcula con la diferencia entre el desplazamiento del último piso y el desplazamiento del sistema de aislación en función del tiempo. Como dato adicional se calculó el cortante basal en el tiempo donde se produce el desplazamiento relativo máximo.

El desplazamiento relativo máximo y el cortante basal correspondiente se obtuvo para cada registro sísmico en estudio y para las dos (2) direcciones (X y Y).

En las siguientes Tablas se muestran un resumen de los desplazamientos relativos y cortantes basales calculados.

Llallay_Valp				
	Dirección X		Dirección Y	
Niveles Sísmicos	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)
Frecuente	2.69	358.17	3.08	345.95
Ocasional	3.14	389.70	3.59	368.57
Raro	3.60	414.71	4.33	452.76
Muy Raro	4.35	444.27	5.26	446.84

Tabla 6. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales. Sismo Llallay_Valp.

Valparaiso-Valp				
	Dirección X		Dirección Y	
Niveles Sísmicos	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)
Frecuente	2.02	303.97	2.53	317.20
Ocasional	2.36	353.27	2.93	338.48
Raro	2.77	381.23	3.29	344.47
Muy Raro	3.44	394.40	4.05	397.20

Tabla 7. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Valparaiso-Valp.

Vina200os				
	Dirección X		Dirección Y	
Niveles Sísmicos	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)
Frecuente	2.24	364.95	2.92	375.91
Ocasional	2.88	402.31	3.48	411.46
Raro	3.34	420.25	4.03	428.12
Muy Raro	4.41	497.35	5.47	501.53

Tabla 8. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Vina200os.

Ica2-EO				
	Dirección X		Dirección Y	
Niveles Sísmicos	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)
Frecuente	2.30	381.90	2.58	389.28
Ocasional	2.54	409.65	2.85	412.48
Raro	2.89	404.28	3.39	401.02
Muy Raro	3.45	405.48	4.14	402.12

Tabla 9. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Ica2-EO.

Llolleo1				
	Dirección X		Dirección Y	
Niveles Sísmicos	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)
Frecuente	2.36	336.18	2.71	361.56
Ocasional	2.78	366.00	3.15	387.90
Raro	3.22	390.01	3.60	404.19
Muy Raro	3.86	409.89	4.28	417.62

Tabla 10. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Llolleo1.

Melipilla-ee-os				
	Dirección X		Dirección Y	
Niveles Sísmicos	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)
Frecuente	2.65	385.95	3.32	403.01
Ocasional	2.98	418.71	3.77	432.79
Raro	3.99	363.67	4.63	368.76
Muy Raro	4.96	379.41	5.56	387.79

Tabla 11. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Melipilla-ee-os.

Asdo-N				
	Dirección X		Dirección Y	
Niveles Sísmicos	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)	Desplazamiento Relativo (cm)	Cortante Basal (Ton)
Frecuente	3.24	352.13	3.77	334.42
Ocasional	3.91	368.86	4.76	259.71
Raro	5.05	358.50	6.46	346.46
Muy Raro	6.92	437.18	8.82	435.24

Tabla 12. Desplazamientos relativos para la estructura sobre el sistema de aislación y cortantes basales para el Sismo Asdo-N.

3.6 DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO REHABILITACIÓN (CON AISLACIÓN).

El desempeño estructural fue determinado en base a la sectorización de la curva de capacidad realizada por Dunn (2016). En esta curva se ha dibujado el “punto de desempeño” el cual se refiere a la deformación relativa máxima de la estructura sobre el sistema de aislación y el cortante basal correspondiente a cada uno de los registros y direcciones en estudio. A continuación, se presenta las curvas de sectorización y los puntos de desempeño para cada sismo.

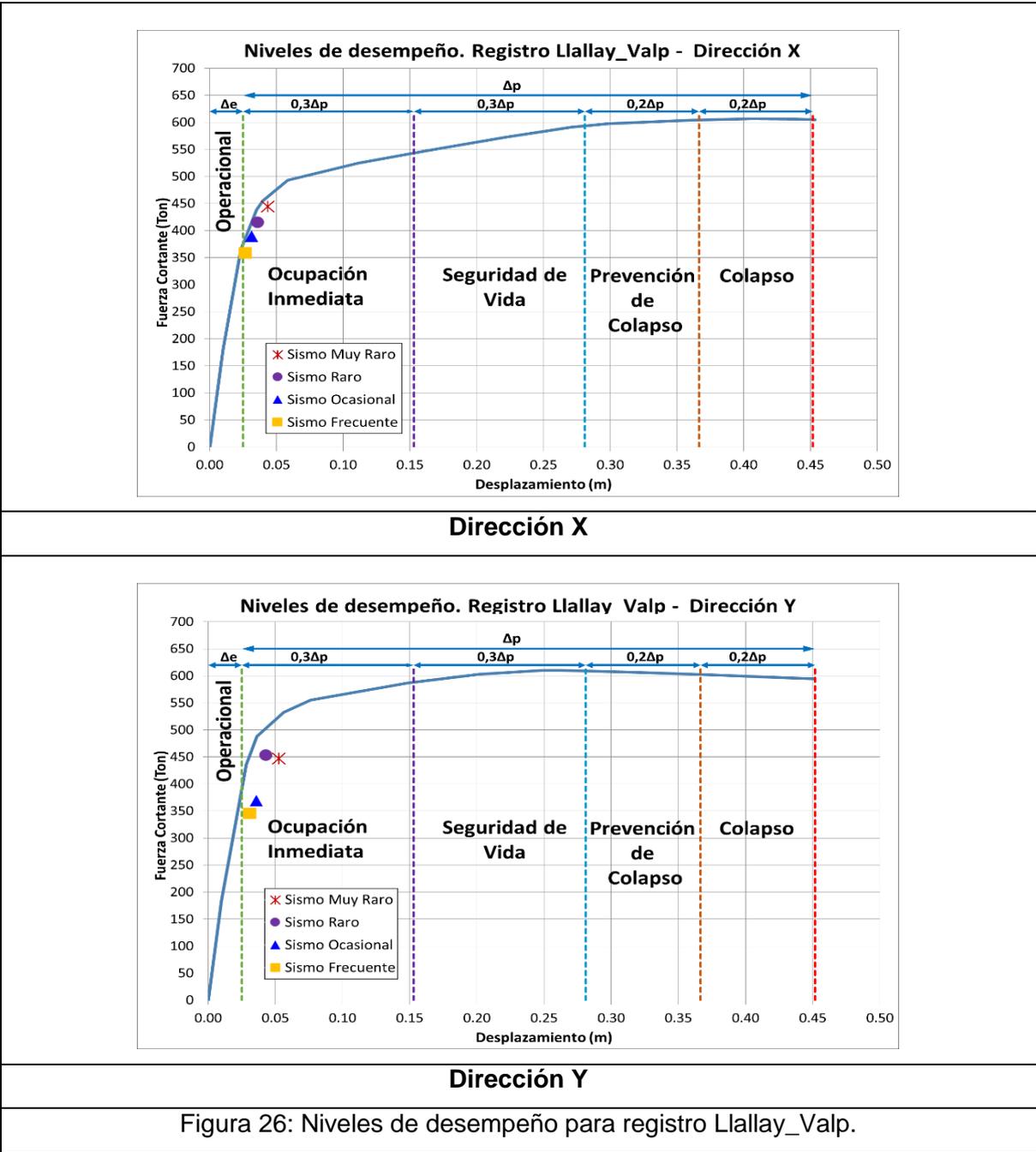
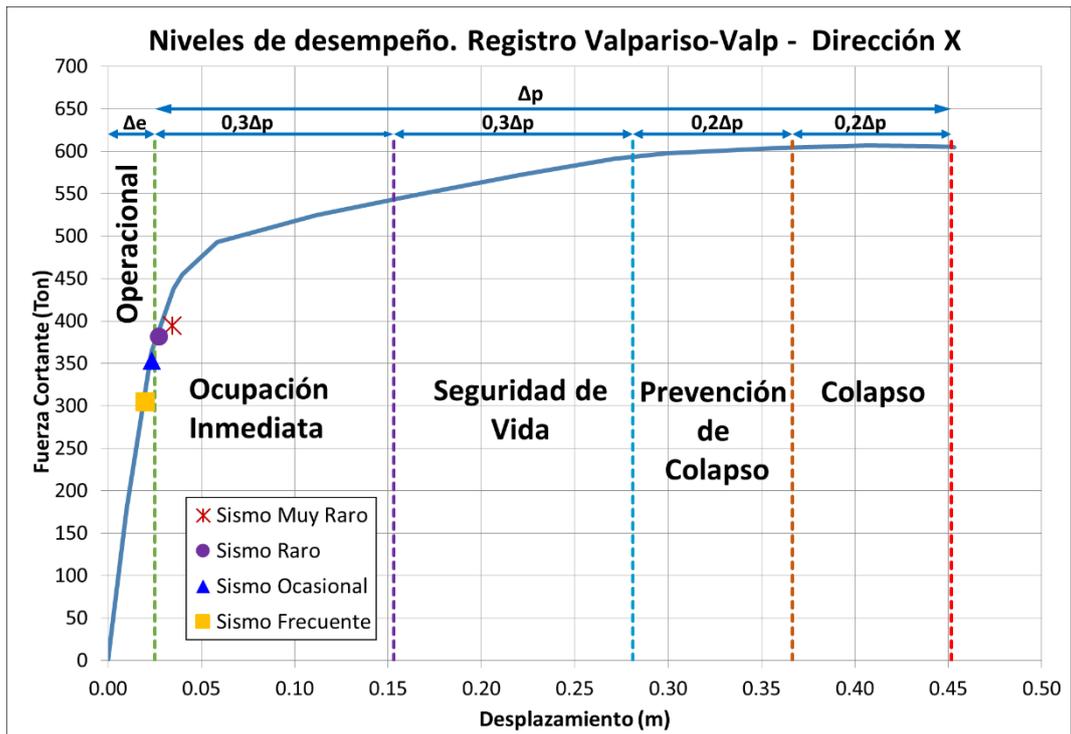
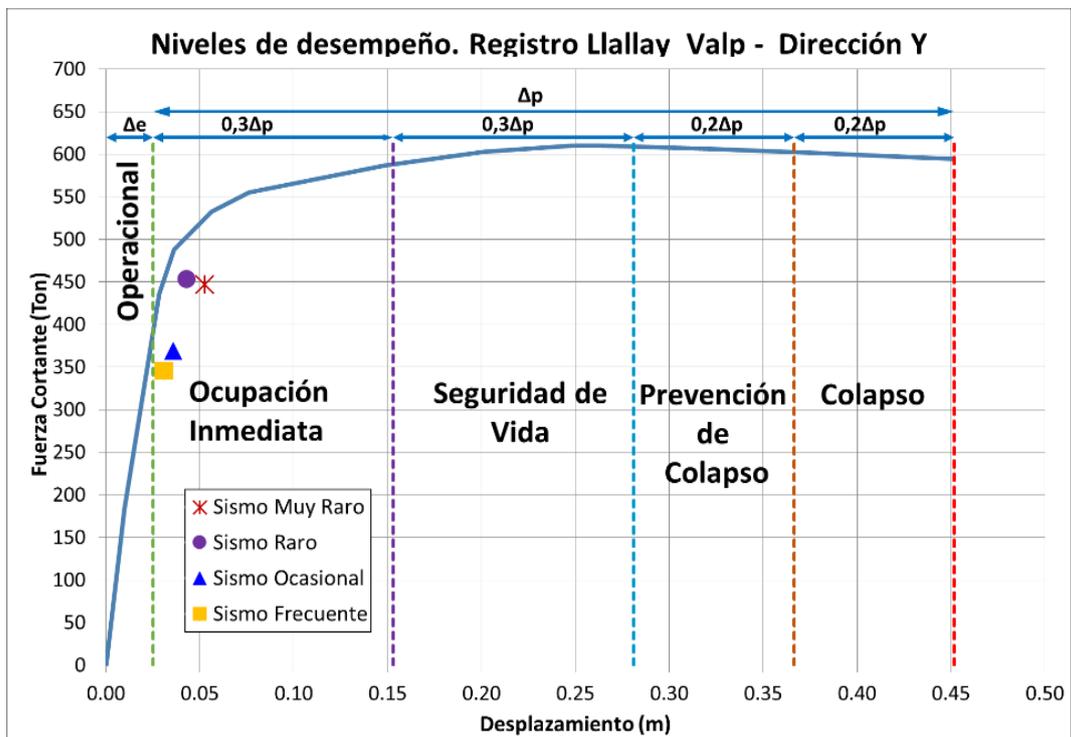


Figura 26: Niveles de desempeño para registro Llallay_Valp.

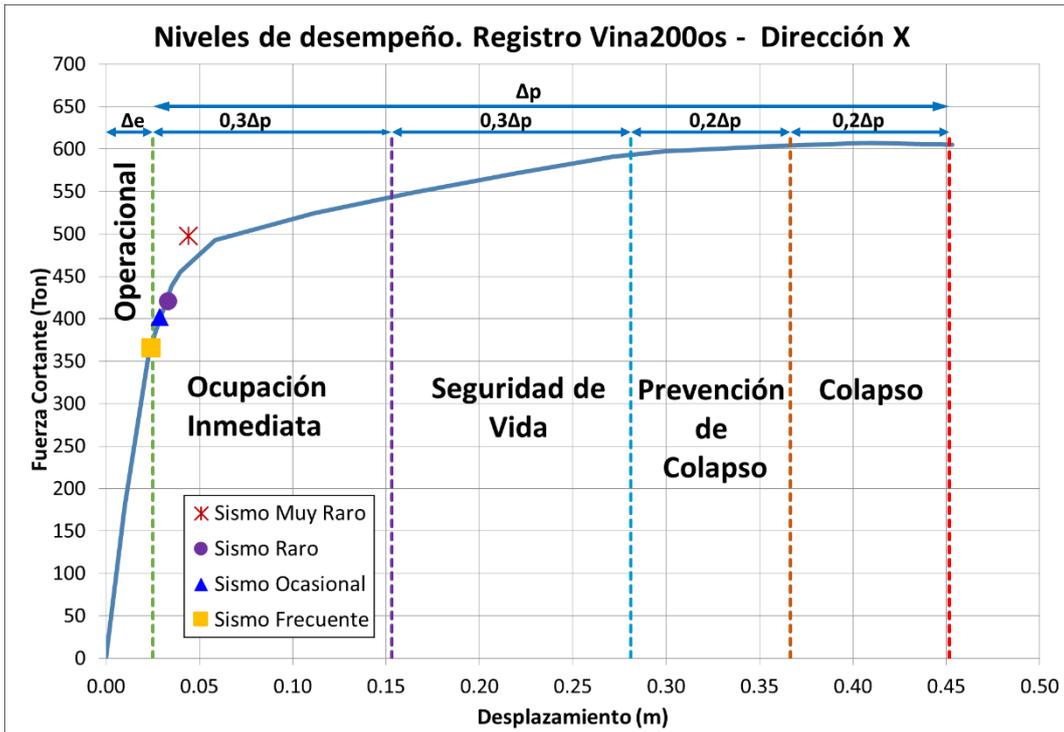


Dirección X

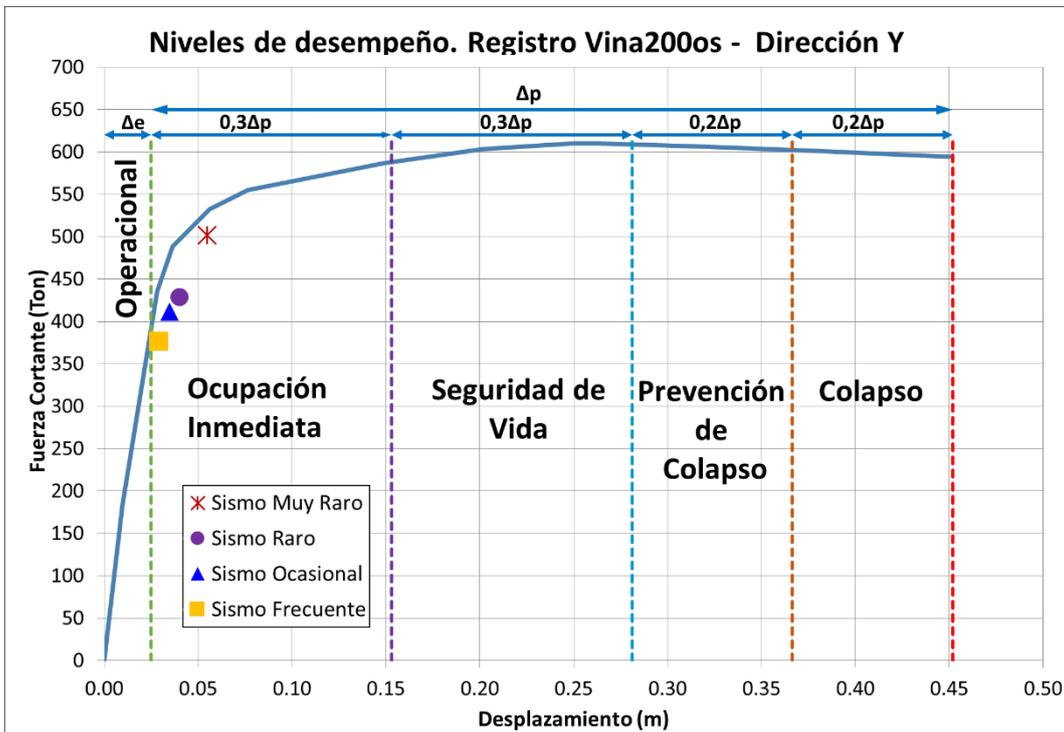


Dirección Y

Figura 27: Niveles de desempeño para registro Valparaiso_Valp.

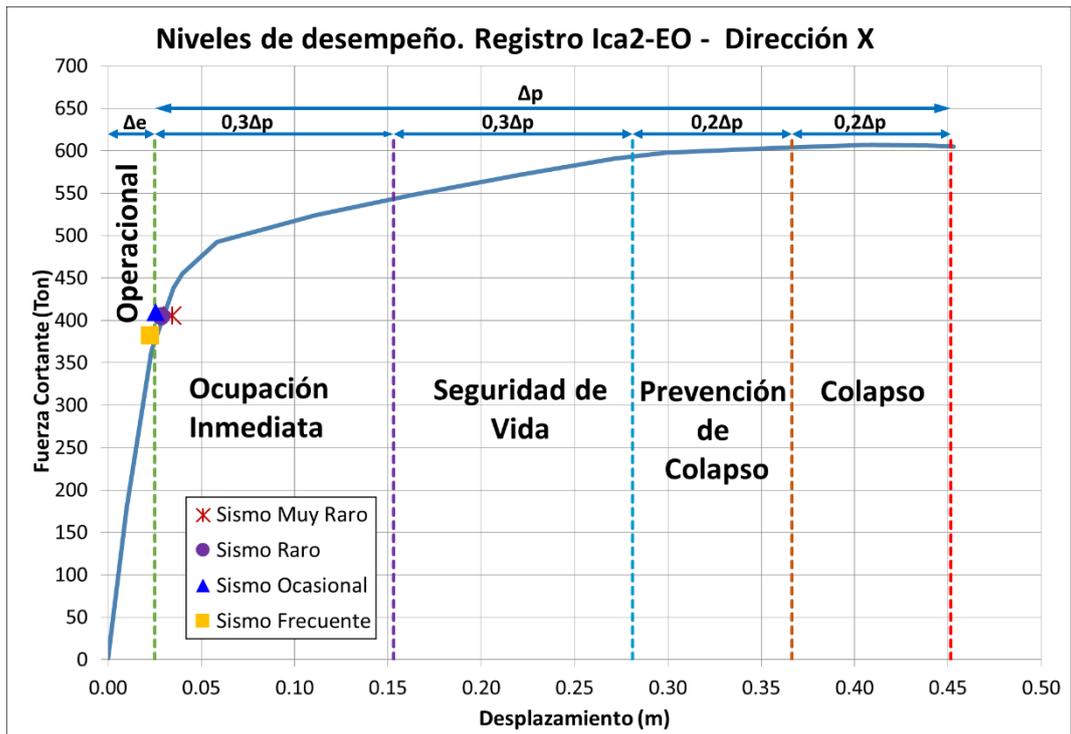


Dirección X

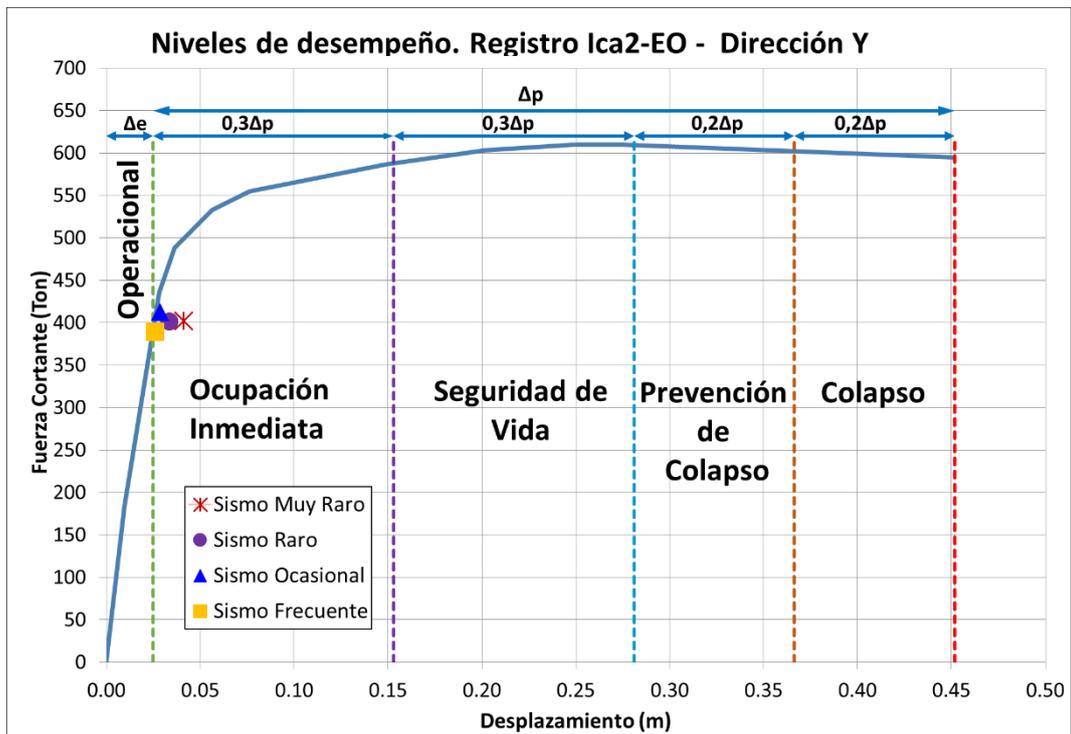


Dirección Y

Figura 28: Niveles de desempeño para registro Vina200os.

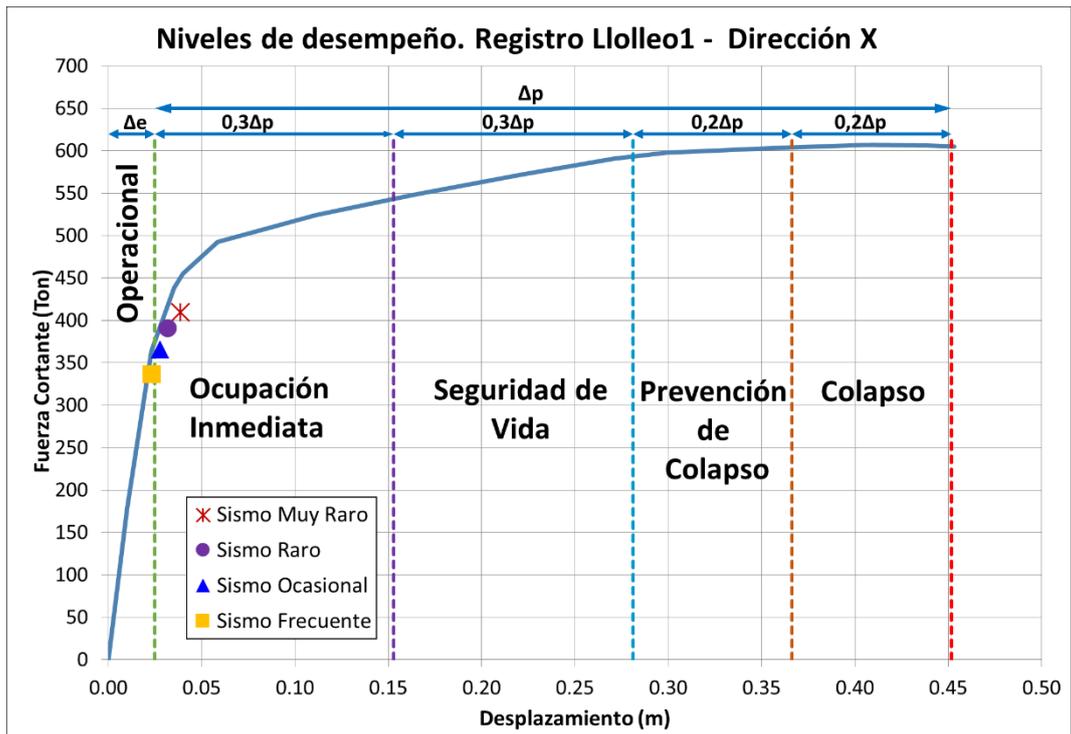


Dirección X

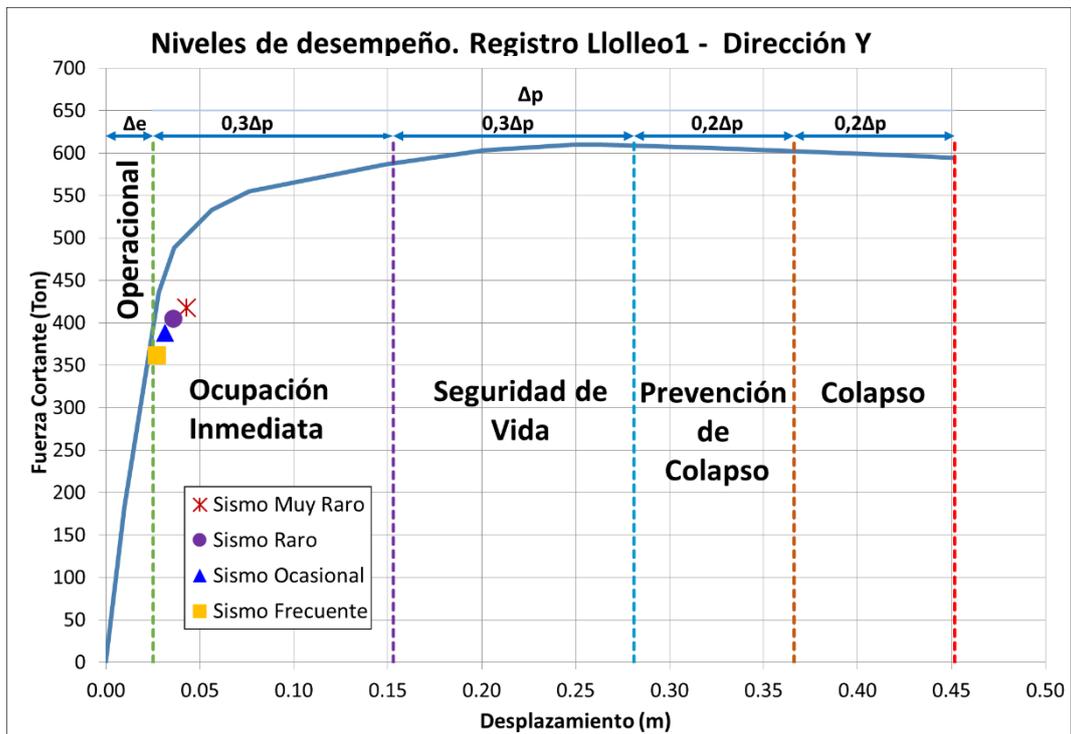


Dirección Y

Figura 29: Niveles de desempeño para registro Ica2-EO.

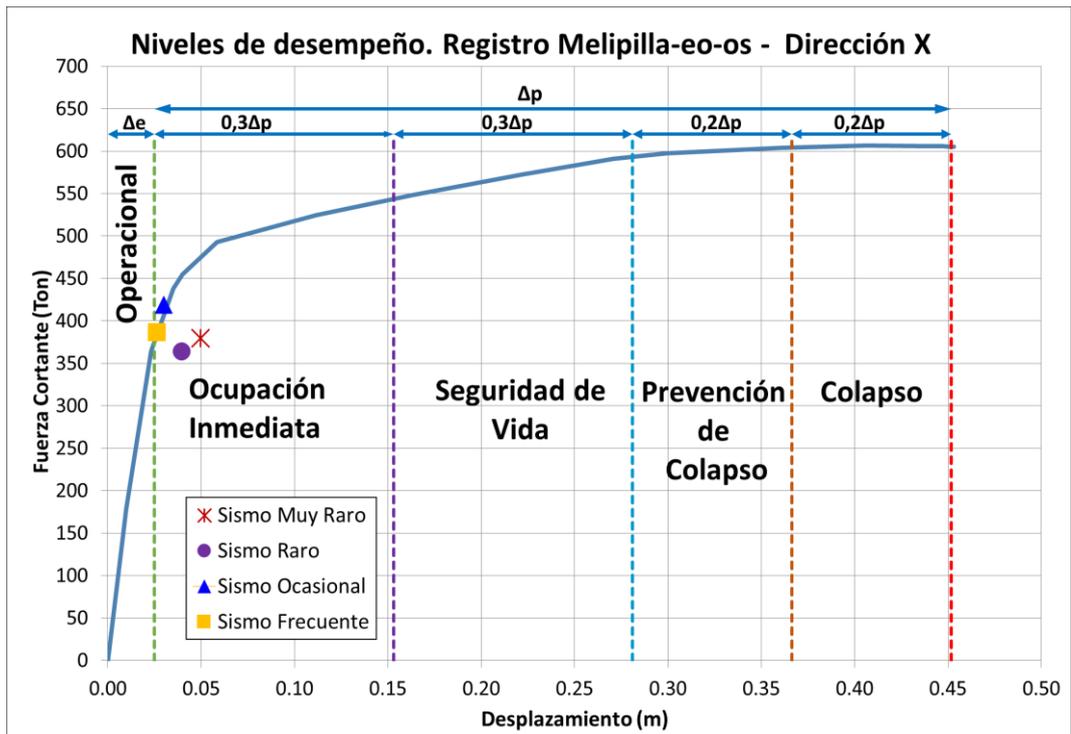


Dirección X

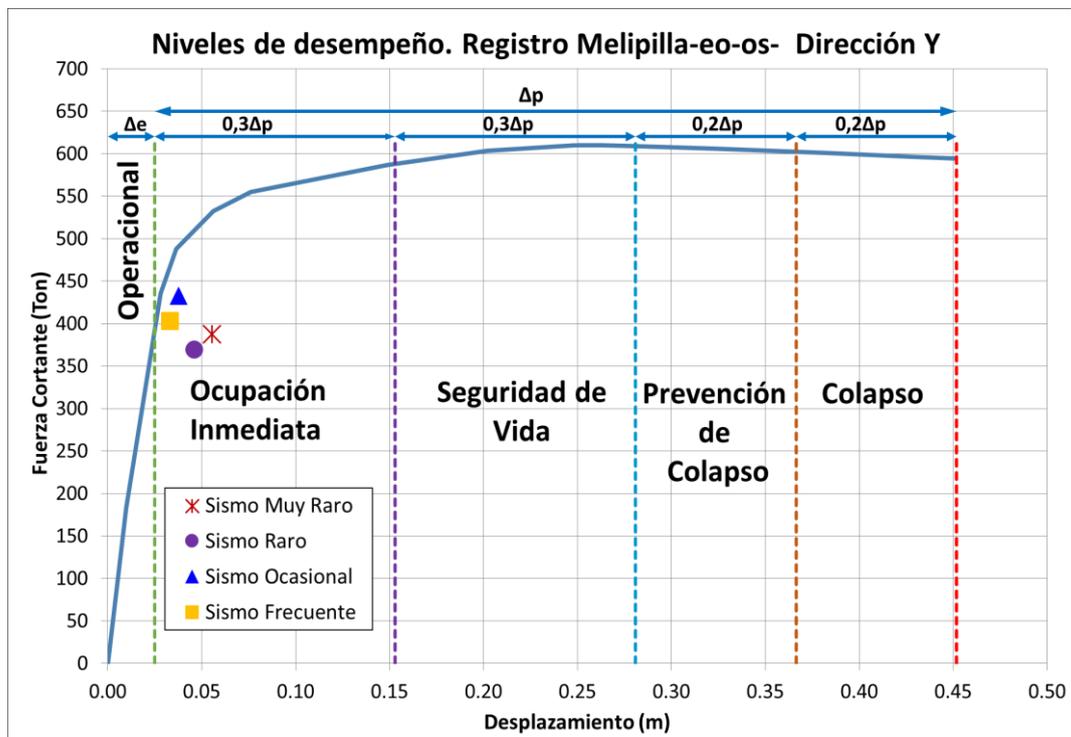


Dirección Y

Figura 30: Niveles de desempeño para registro Lolloe1.

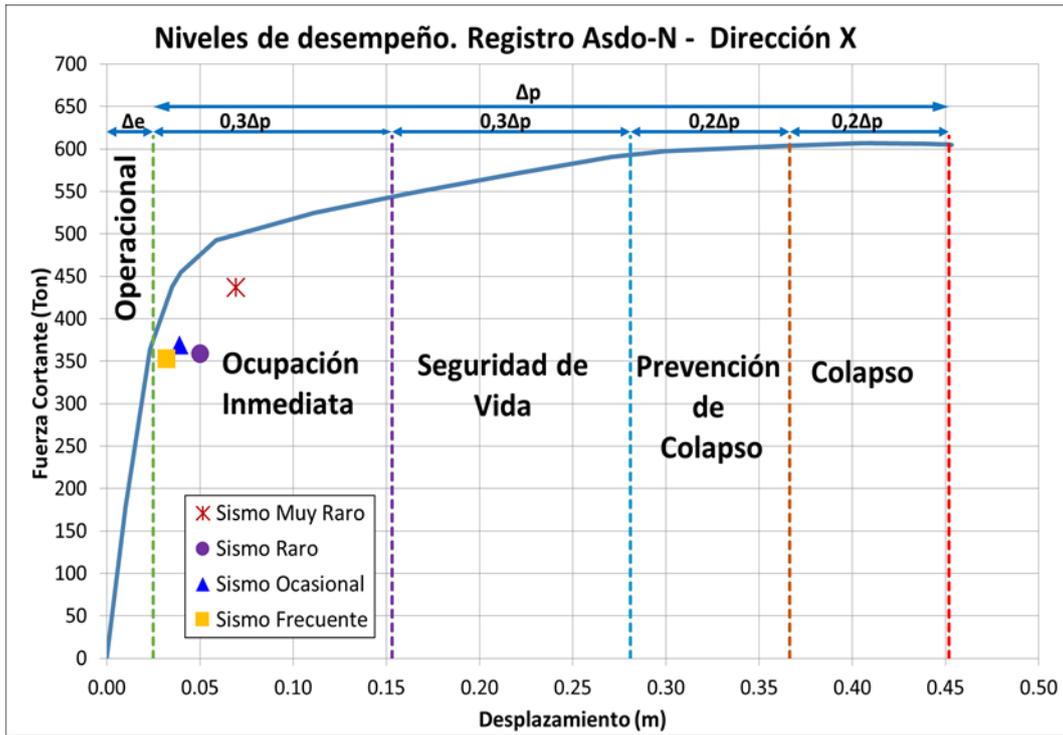


Dirección X

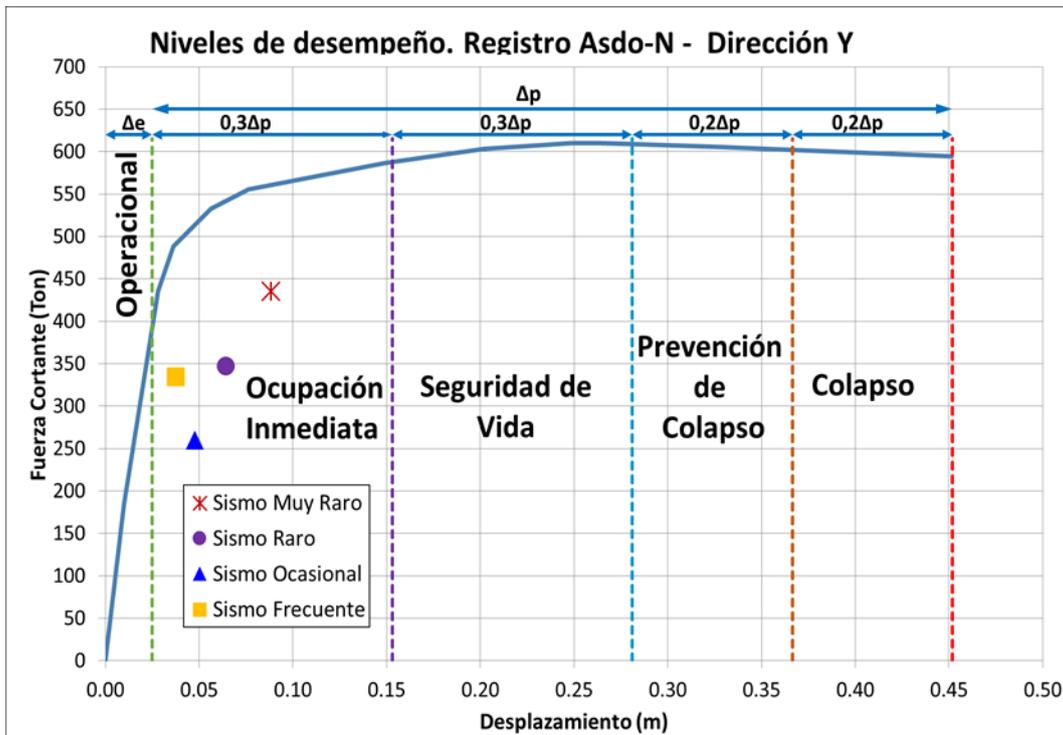


Dirección Y

Figura 31: Niveles de desempeño para registro Melipilla-eo-os.



Dirección X



Dirección Y

Figura 32: Niveles de desempeño para registro Asdo-N.

3.6.1 DETERMINACIÓN DE LA HISTÉRESIS DE LA ESTRUCTURA SOBRE EL SISTEMA DE AISLACIÓN.

El comportamiento de la estructura sobre el sistema de aislación es representado por la curva cortante basal versus el desplazamiento relativo entre el último piso y el nivel ubicado sobre el sistema de aislación.

A manera de ejemplo, en la Figura 33 se muestra la histéresis de la estructura sobre el sistema de aislación debido al registro Asdo-N para un sismo ocasional en la dirección Y. En la gráfica se puede observar que la histéresis no se ajusta a la curva de capacidad (Pushover) como lo hacía la histéresis de todo el sistema (edificio + sistema de aislación).

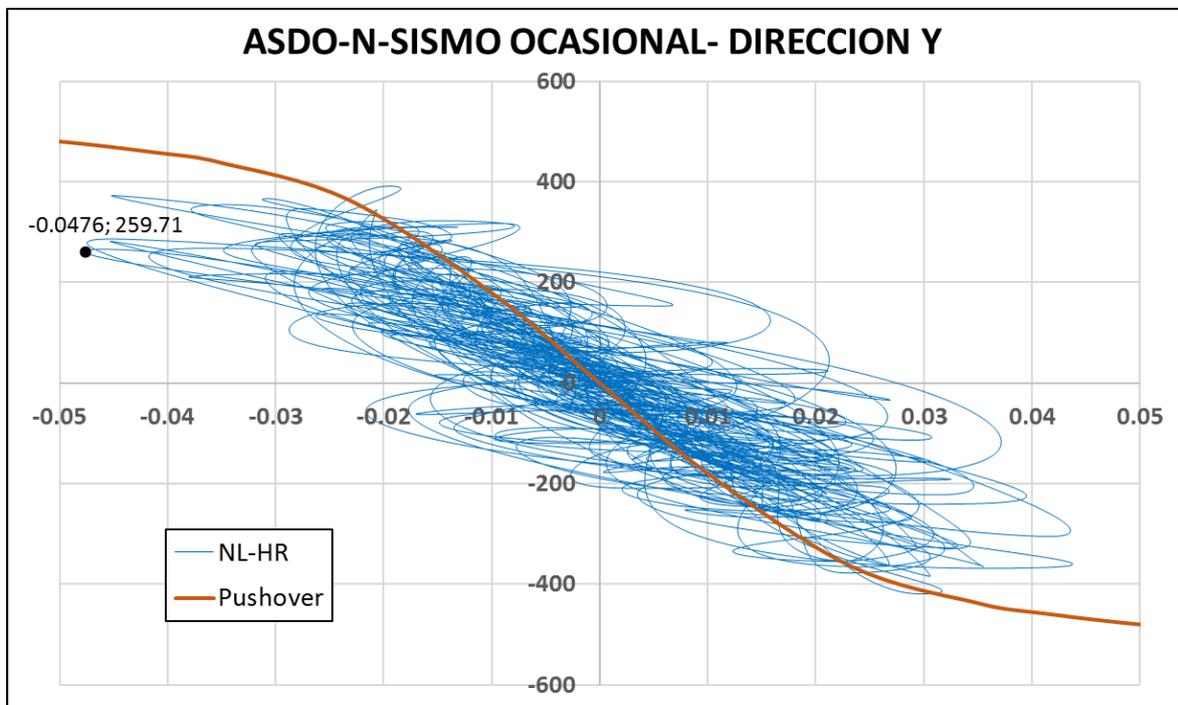


Figura 33: Niveles de desempeño para registro Asdo-N.

En las tablas y graficas anteriores se utilizó el desplazamiento máximo de la estructura sobre el sistema de aislación para definir el nivel de desempeño de la estructura. Como se puede notar en la figura, el desplazamiento máximo (4.76 cm) no coincide con el máximo cortante basal, lo que si ocurre con la curva de capacidad (Pushover). Debido a esta observación, se puede concluir que definir el desempeño del edificio mediante el desplazamiento máximo o cortante máximo no es siempre la forma más apropiada o correcta.

Se deberá estudiar a mayor profundidad la diferencia obtenida entre la histéresis del edificio sobre el sistema de aislación y su curva de capacidad correspondiente para así establecer un método que permita definir de manera más apropiada el punto o nivel de desempeño del edificio.

3.6.2 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE DESEMPEÑO PROMEDIO.

Las normas de diseño con sistemas con aislación sísmica ASCE 7-10 y FEMA 450 permite el uso del promedio de las respuestas, siempre y cuando se use 7 o más registros sísmicos. Acogiéndonos a esa especificación podemos determinar el nivel de desempeño promediando las deformaciones relativas de la estructura sobre el sistema de aislación.

A continuación, se muestra una tabla de resumen con los desplazamientos relativos de la estructura sobre el sistema de aislación para cada dirección en estudio.

Desplazamientos Relativos Máximos Estructura sobre Sistema de Aislación (cm) Dirección X				
Registros Sísmicos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Llallay_Valp	2.69	3.14	3.60	4.35
Valparaiso-Valp	2.02	2.36	2.77	3.44
Vina200os	2.24	2.88	3.34	4.41
Ica2-EO	2.30	2.54	2.89	3.45
Llolleo1	2.36	2.78	3.22	3.86
Melipilla-eo-os	2.65	2.98	3.99	4.96
Asdo-N	3.24	3.91	5.05	6.92
Promedio	2.50	2.94	3.55	4.48

Tabla 13. Resumen de los Desplazamientos relativos Máximos de la estructura sobre el sistema de aislación- Dirección X.

Desplazamientos Relativos Máximos Estructura sobre Sistema de Aislación (cm) Dirección Y				
Registros Sísmicos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Llallay_Valp	3.08	3.59	4.33	5.26
Valparaiso-Valp	2.53	2.93	3.29	4.05
Vina200os	2.92	3.48	4.03	5.47
Ica2-EO	2.58	2.85	3.39	4.14
Llolleo1	2.71	3.15	3.60	4.28
Melipilla-eo-os	3.32	3.77	4.63	5.56
Asdo-N	3.77	4.76	6.46	8.82
Promedio	2.99	3.50	4.25	5.37

Tabla 14. Resumen de los Desplazamientos relativos Máximos de la estructura sobre el sistema de aislación- Sentido Y.

A continuación, se muestra una tabla de resumen con los cortantes de la estructura sobre el sistema de aislación para cada dirección en estudio.

Cortantes Basales Estructura sobre Sistema de Aislación (Ton) Dirección X				
Registros Sísmicos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Llallay_Valp	358.17	389.7	414.71	444.27
Valparaiso-Valp	303.97	353.27	381.23	394.4
Vina200os	364.95	402.31	420.25	497.35
Ica2-EO	381.9	409.65	404.28	405.48
Llolleo1	336.18	366.00	390.01	409.89
Melipilla-eo-os	385.95	418.71	363.67	379.41
Asdo-N	352.13	368.86	358.50	437.41
Promedio	354.75	386.93	390.38	424.01

Tabla 15. Resumen de los Cortantes basales de la estructura sobre el sistema de aislación- Sentido X.

Cortantes Basales Estructura sobre Sistema de Aislación (Ton) Dirección Y				
Registros Sísmicos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Llallay_Valp	345.95	368.57	452.76	446.84
Valparaiso-Valp	317.2	338.48	344.47	397.2
Vina200os	375.91	411.46	428.12	501.53
Ica2-EO	389.28	412.48	401.02	402.12
Llolleo1	361.56	387.90	404.19	417.62
Melipilla-eo-os	403.01	432.79	368.76	387.79
Asdo-N	334.42	259.71	346.46	435.24
Promedio	361.05	373.06	392.25	426.91

Tabla 16. Resumen de los Cortantes basales de la estructura sobre el sistema de aislación- Sentido Y.

En las figuras 34 y 35 se muestran los niveles de desempeño del promedio de las respuestas según las direcciones en estudio.

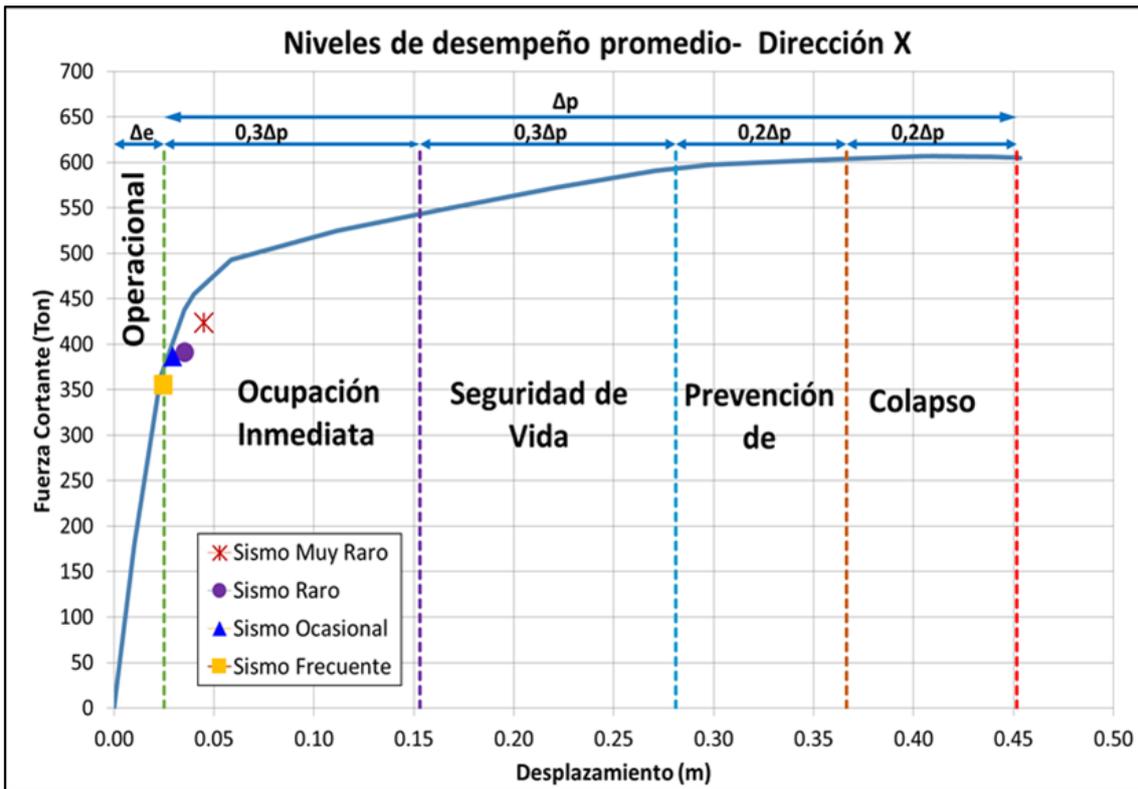


Figura 34. Niveles de desempeño según el promedio de las respuestas. Dirección X

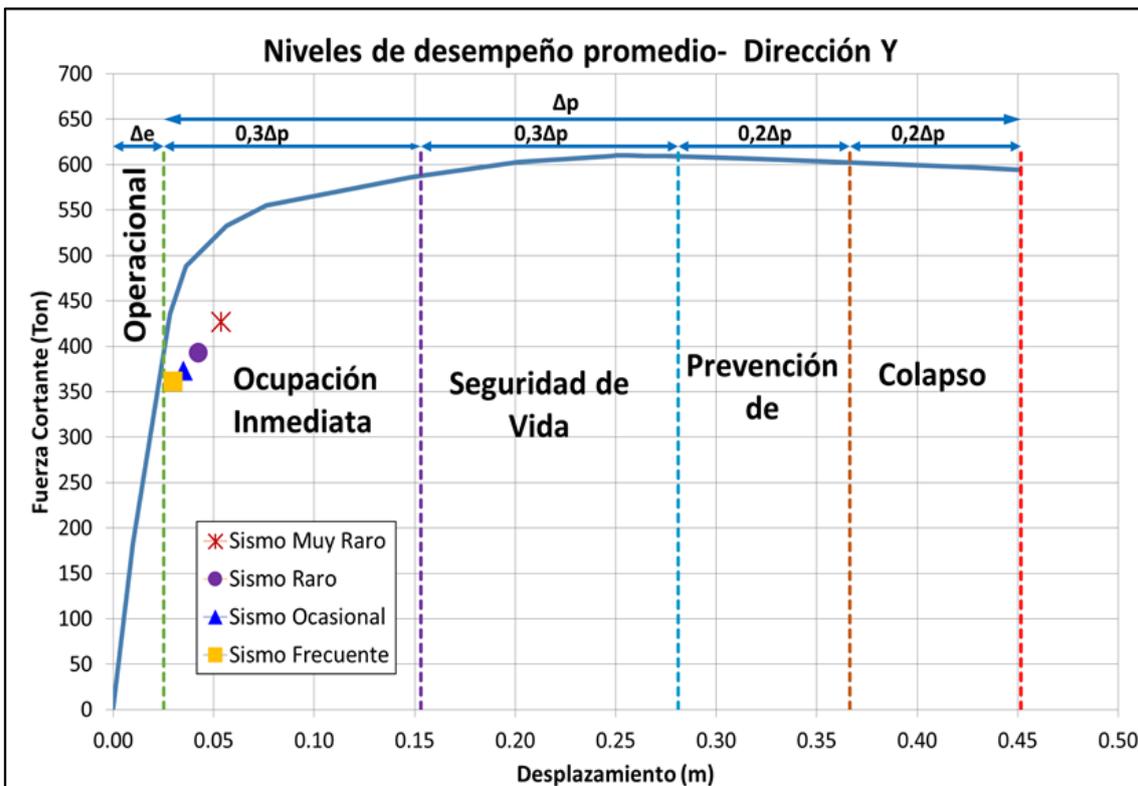


Figura 35. Niveles de desempeño según el promedio de las respuestas. Dirección Y

3.6.3 DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN.

El desempeño del sistema de aislación también debe ser evaluado ya que éstos determinarán el protocolo de ensayos de calidad a la cual los aisladores van a ser sometidos. Para ello se muestra a continuación una tabla de resumen con los desplazamientos máximos del sistema de aislación para los diferentes registros sísmicos y direcciones. En este análisis solo los desplazamientos máximos debido al sismo Muy Raro son evaluados.

Desplazamientos Máximos – Sistema de Aislación (cm)		
Registros Sísmicos	Sismo Muy Raro	
	Dirección X	Dirección Y
Llallay_Valp	35.14	35.99
Valparaiso-Valp	22.89	22.46
Vina200os	40.10	40.64
Ica2-EO	32.95	32.70
Llolleo1	31.06	31.08
Melipilla-eo-os	49.14	47.42
Asdo-N	30.89	29.81
Promedio	34.60	34.30

Tabla 17. Resumen de los desplazamientos máximos del sistema de aislación para los diferentes registros sísmicos- Sentido X y Y.

CAPÍTULO 4: ACELERACIONES Y DERIVAS DE ENTREPISO DEL EDIFICIO PARA VARIOS NIVELES SÍSMICOS.

4.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se revisarán las aceleraciones y derivas de entrepiso de la estructura con el sistema de aislación para cada registro sísmico y a los distintos niveles de amenaza sísmica en la dirección X y Y. Estos parámetros son importantes para la evaluación del daño No-Estructural.

El programa Etabs considera las aceleraciones relativas a la base (para el programa las aceleraciones de los apoyos del edificio son iguales a cero). Por esta razón, se ha calculado la aceleración absoluta de cada piso, o sea la aceleración que considera que las aceleraciones en los apoyos son iguales a las aceleraciones del registro en estudio.

En las Tablas mostradas en la sección 4.2 se considera en el nivel “suelo” las aceleraciones máximas del registro escalado al nivel sísmico deseado.

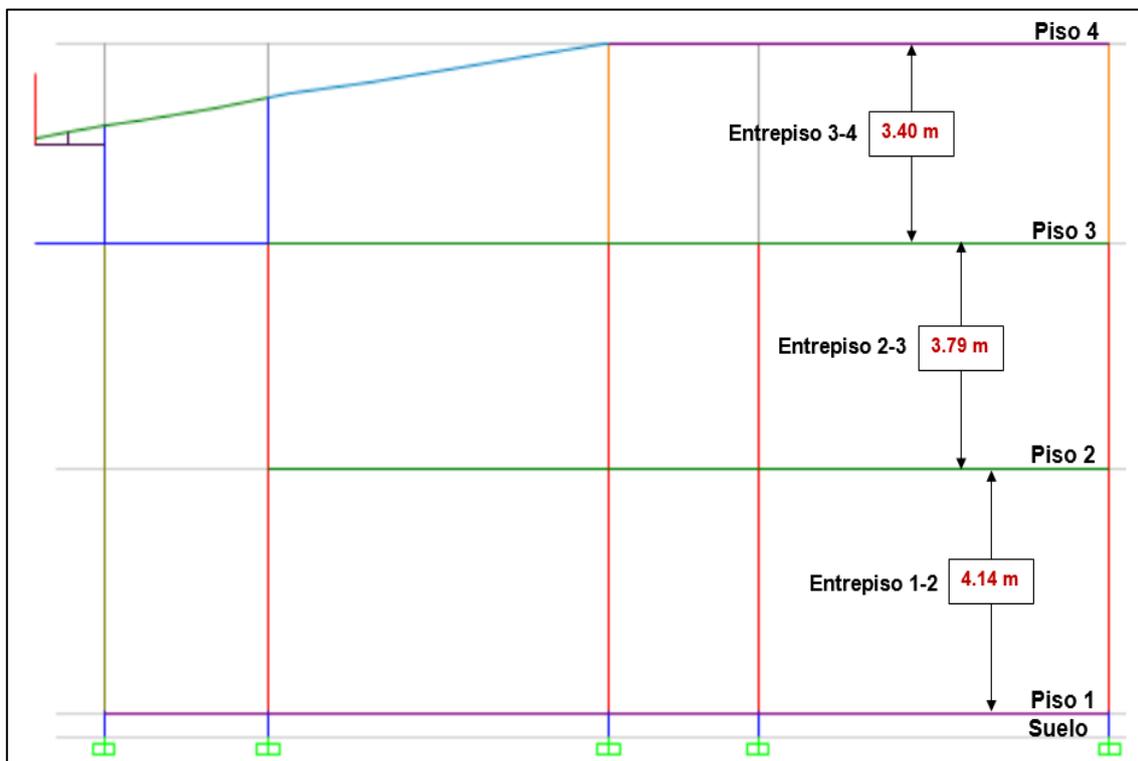


Figura 36. Elevación del Edificio de la Facultad de Ingeniera sobre el sistema de aislación.

En el caso del cálculo de las derivas de piso, estas fueron calculadas mediante la resta de los desplazamientos del piso superior menos el piso inferior del nivel en estudio dividido para la altura del piso. Las alturas de los entrepisos Planta Baja, Primer Piso y Segundo Piso son 4.14 m, 3.79 m y 3.4 m, respectivamente (Figura 36).

4.2 ACELERACIONES DE PISO PARA DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.

En las tablas siguientes se muestran las aceleraciones absolutas máximas del edificio sobre el sistema de aislación en cada piso de la estructura para los 7 registros sísmicos, los 4 niveles sísmicos y las direcciones de estudio X y Y.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Llallay_Valp - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	2.09	2.57	3.53	4.76
Piso 3	1.73	2.06	2.38	2.93
Piso 2	1.33	1.60	1.79	2.09
Piso 1	1.59	2.16	2.67	3.36
Suelo	4.54	6.63	9.31	13.85

Tabla 18. Aceleraciones máximas para el Sismo Llallay_Valp - Dirección X.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Llallay_Valp - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	2.22	2.89	3.97	5.23
Piso 3	1.76	2.10	2.56	3.16
Piso 2	1.34	1.64	1.84	2.18
Piso 1	1.69	2.29	2.84	3.60
Suelo	4.54	6.63	9.31	13.85

Tabla 19. Aceleraciones máximas para el Sismo Llallay_Valp - Dirección Y.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Valparaiso-Valp - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	1.40	1.64	2.05	2.96
Piso 3	1.25	1.48	1.71	2.19
Piso 2	1.23	1.37	1.51	1.63
Piso 1	1.34	1.62	1.89	2.33
Suelo	2.73	3.87	5.36	8.26

Tabla 20. Aceleraciones máximas para el Sismo Valparaiso-Valp - Dirección X.

Aceleraciones máximas				
Estructura sobre Sistema de Aislación (m/seg²)				
Valparaiso-Valp - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	1.57	1.91	2.21	3.15
Piso 3	1.41	1.66	1.90	2.35
Piso 2	1.30	1.46	1.56	1.65
Piso 1	1.52	1.83	2.12	2.58
Suelo	2.73	3.87	5.36	8.26

Tabla 21. Aceleraciones máximas para el Sismo Valparaiso-Valp - Dirección Y.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Vina200os - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	1.66	2.07	2.80	4.10
Piso 3	1.48	1.79	2.13	2.85
Piso 2	1.35	1.58	1.77	2.02
Piso 1	1.38	1.82	2.26	2.86
Suelo	3.56	5.09	7.11	10.85

Tabla 22. Aceleraciones máximas para el Sismo Vina200os - Dirección X.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Vina200os - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	1.82	2.29	3.06	4.54
Piso 3	1.59	1.93	2.29	3.21
Piso 2	1.38	1.61	1.80	2.08
Piso 1	1.43	1.92	2.38	2.97
Suelo	3.56	5.09	7.11	10.85

Tabla 23. Aceleraciones máximas para el Sismo Vina200os - Dirección Y.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Ica2-EO - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	1.44	1.67	2.12	2.75
Piso 3	1.40	1.56	1.79	2.22
Piso 2	1.35	1.46	1.64	1.78
Piso 1	1.38	1.57	1.96	2.51
Suelo	1.43	2.04	2.80	4.23

Tabla 24. Aceleraciones máximas para el Sismo Ica2-EO - Dirección X.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Ica2-EO - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	1.43	1.75	2.27	3.02
Piso 3	1.39	1.56	1.87	2.38
Piso 2	1.37	1.49	1.68	1.84
Piso 1	1.39	1.61	2.03	2.67
Suelo	1.43	2.04	2.80	4.23

Tabla 25. Aceleraciones máximas para el Sismo Ica2-EO - Dirección Y.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Llolleo1 - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	1.74	2.19	2.65	3.42
Piso 3	1.48	1.77	2.09	2.56
Piso 2	1.34	1.50	1.63	1.76
Piso 1	1.57	1.88	2.25	2.85
Suelo	4.61	6.42	8.87	13.62

Tabla 26. Aceleraciones máximas para el Sismo Llolleo1 - Dirección X.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Llolleo1 - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	1.84	2.33	2.83	3.70
Piso 3	1.47	1.75	2.04	2.48
Piso 2	1.35	1.52	1.65	1.79
Piso 1	1.65	1.96	2.32	2.88
Suelo	4.61	6.42	8.87	13.62

Tabla 27. Aceleraciones máximas para el Sismo Llolleo1 - Dirección Y.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Melipilla-eo-os - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	2.63	3.46	4.70	6.50
Piso 3	1.68	2.05	2.74	3.56
Piso 2	1.45	1.65	1.87	2.66
Piso 1	2.37	3.08	4.06	5.74
Suelo	10.77	14.67	20.86	31.63

Tabla 28. Aceleraciones máximas para el Sismo Melipilla-eo-os - Dirección X.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Melipilla-eo-os - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	2.70	3.49	4.52	6.29
Piso 3	1.85	2.19	2.88	3.49
Piso 2	1.50	1.73	1.94	5.54
Piso 1	2.14	2.80	3.73	6.50
Suelo	10.77	14.67	20.86	31.63

Tabla 29. Aceleraciones máximas para el Sismo Melipilla-eo-os - Dirección Y.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Asdo-N - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	3.08	4.18	5.54	7.40
Piso 3	2.22	2.72	3.61	5.05
Piso 2	1.32	1.55	1.76	2.13
Piso 1	2.11	2.84	3.81	4.92
Suelo	8.71	11.98	16.34	23.96

Tabla 30. Aceleraciones máximas para el Sismo Asdo-N - Dirección X.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Asdo-N - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	3.65	4.92	6.53	9.05
Piso 3	2.28	3.07	4.18	5.78
Piso 2	1.36	1.61	1.82	2.24
Piso 1	2.46	3.35	4.54	6.15
Suelo	8.71	11.98	16.34	23.96

Tabla 31. Aceleraciones máximas para el Sismo Asdo-N - Dirección Y.

4.3 DERIVAS DE ENTREPISO PARA LOS REGISTROS SÍSMICOS A DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.

En las tablas siguientes se muestran las derivas entrepiso del edificio sobre el sistema de aislación para los 7 registros sísmicos a los distintos niveles sísmicos en las direcciones de estudio X y Y.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Llallay_Valp - Dirección X				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000788	0.000399	0.000516	0.001011
Piso 2-3	0.002010	0.001328	0.001469	0.002398
Piso 1-2	0.003436	0.002938	0.003140	0.004076

Tabla 32. Derivas entrepiso para el Sismo Llallay_Valp - Dirección X.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Llallay_Valp - Dirección Y				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000819	0.000394	0.000430	0.001577
Piso 2-3	0.002062	0.001445	0.001451	0.003472
Piso 1-2	0.003469	0.003145	0.003226	0.005102

Tabla 33. Derivas entrepiso para el Sismo Llallay_Valp - Dirección Y.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Valparaiso-Valp - Dirección X				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000544	0.000560	0.000529	0.000553
Piso 2-3	0.001450	0.001578	0.001553	0.001615
Piso 1-2	0.002749	0.003039	0.003147	0.003220

Tabla 34. Derivas entrepiso para el Sismo Valparaiso-Valp - Dirección X.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Valparaiso-Valp - Dirección Y				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000605	0.000683	0.000671	0.000865
Piso 2-3	0.001668	0.001778	0.001894	0.002262
Piso 1-2	0.003072	0.003292	0.003510	0.003825

Tabla 35. Derivas entrepiso para el Sismo Valparaiso-Valp - Dirección Y.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Vina200os - Dirección X				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000605	0.000547	0.000944	0.000605
Piso 2-3	0.001703	0.001682	0.002386	0.002158
Piso 1-2	0.003183	0.003359	0.003897	0.003966

Tabla 36. Derivas entrepiso para el Sismo Vina200os - Dirección X.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Vina200os- Dirección Y				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000806	0.000698	0.001364	0.001418
Piso 2-3	0.002114	0.002031	0.003163	0.003125
Piso 1-2	0.003614	0.003743	0.004643	0.004742

Tabla 37. Derivas entrepiso para el Sismo Vina200os - Dirección Y.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Ica2-EO - Dirección X				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000629	0.000752	0.000845	0.000961
Piso 2-3	0.001687	0.001992	0.002227	0.002499
Piso 1-2	0.003112	0.003614	0.003992	0.004386

Tabla 38. Derivas entrepiso para el Sismo Ica2-EO - Dirección X.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Ica2-EO - Dirección Y				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000739	0.000882	0.000996	0.001154
Piso 2-3	0.001944	0.002260	0.002927	0.002927
Piso 1-2	0.003394	0.003902	0.004321	0.004838

Tabla 39. Derivas entrepiso para el Sismo Ica2-EO - Dirección Y.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Llolleo1 - Dirección X				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000545	0.000734	0.000862	0.001084
Piso 2-3	0.001566	0.001686	0.002082	0.002636
Piso 1-2	0.002990	0.003068	0.003613	0.004470

Tabla 40. Derivas entrepiso para el Sismo Llolleo1 - Dirección X.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Llolleo1 - Dirección Y				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000766	0.000965	0.000990	0.001320
Piso 2-3	0.002035	0.002115	0.002405	0.003122
Piso 1-2	0.003507	0.003554	0.003959	0.004968

Tabla 41. Derivas entrepiso para el Sismo Llolleo1 - Dirección Y.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Melipilla-eo-os - Dirección X				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000887	0.000656	0.000838	0.001061
Piso 2-3	0.001581	0.001604	0.001864	0.002695
Piso 1-2	0.002953	0.003221	0.003594	0.004830

Tabla 42. Derivas entrepiso para el Sismo Melipilla-eo-os - Dirección X.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Melipilla-eo-os - Dirección Y				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.001299	0.000647	0.000673	0.001286
Piso 2-3	0.002691	0.001598	0.001703	0.003120
Piso 1-2	0.003641	0.003373	0.003610	0.005291

Tabla 43. Derivas entrepiso para el Sismo Melipilla-eo-os - Dirección Y.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Asdo-N - Dirección X				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000742	0.000843	0.000872	0.002331
Piso 2-3	0.001862	0.002061	0.002211	0.004602
Piso 1-2	0.003216	0.003597	0.003845	0.005857

Tabla 44. Derivas entrepiso para el Sismo Asdo-N - Dirección X.

Derivas entrepiso (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Asdo-N - Dirección Y				
Entrepisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000969	0.001074	0.001140	0.003089
Piso 2-3	0.002313	0.002539	0.002663	0.005915
Piso 1-2	0.003717	0.004081	0.004320	0.007067

Tabla 45. Derivas entrepiso para el Sismo Asdo-N - Dirección Y.

CAPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizará los resultados obtenidos en los capítulos 3 y 4.

A partir de los desplazamientos obtenidos en la Sección 3.5, se determina el “punto de desempeño” del edificio para varios niveles sísmicos y registros sísmicos, tanto en dirección X como en dirección Y.

Estos puntos de desempeño son luego comparados con los calculados por Dunn (2016); para ello se siguieron las recomendaciones del ASCE7-10 y FEMA 450, en las cuales establece que para análisis donde se utilice 7 o más registros sísmicos, se podrá considerar el promedio de las repuestas.

Luego, se analiza el desempeño del sistema de aislación por medio del desplazamiento del mismo ante el sismo Muy Raro. El desempeño del sistema de aislación también es comparado con el obtenido por Dunn (2016). De igual manera, se calculó el promedio de las respuestas.

Posteriormente se describe los resultados obtenidos en el estudio de aceleraciones y derivas de entrepiso. Se muestra un ejemplo de las aceleraciones de piso para el edificio sin sistema de aislación para contrastar con los resultados de este estudio. Finalmente, se calcula el promedio de las respuestas (tanto para aceleraciones como derivas de piso).

5.2 NIVELES DE DESEMPEÑO OBTENIDOS PARA LOS REGISTROS SÍSMICOS A DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS

En las figuras 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 y 44, se comparan los desplazamientos relativos y cortantes basales de la estructura sobre el nivel de aislación calculados mediante el análisis No-lineal Historia de la Respuesta con los niveles de desempeño definidos por la curva de sectorización obtenida por Dunn (2016).

En las figuras 36 y 37 se muestran los resultados correspondientes al sismo Frecuente en dirección X y en dirección Y, respectivamente. Para la dirección X podemos notar que los puntos de desempeño se encuentran en el límite del Nivel Operacional y Ocupación Inmediata. En cambio, para la dirección Y los puntos de desempeño se encuentran casi en su totalidad en el nivel de Ocupación Inmediata.

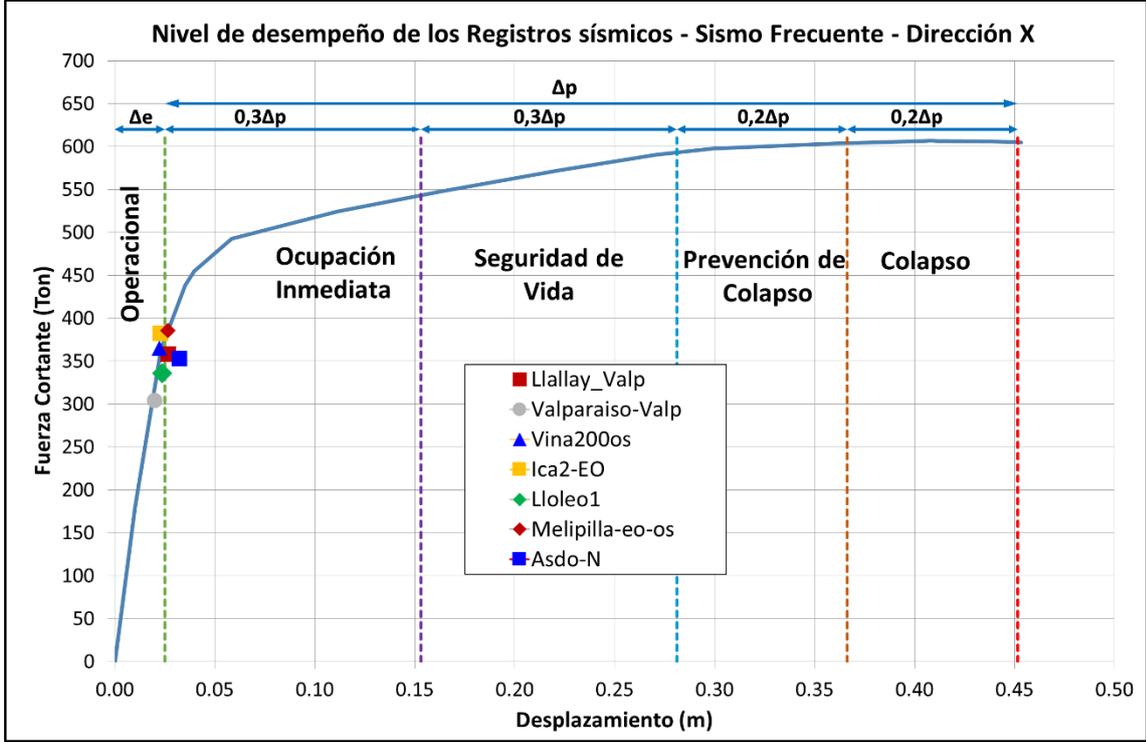


Figura 37. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Frecuente - Dirección X.

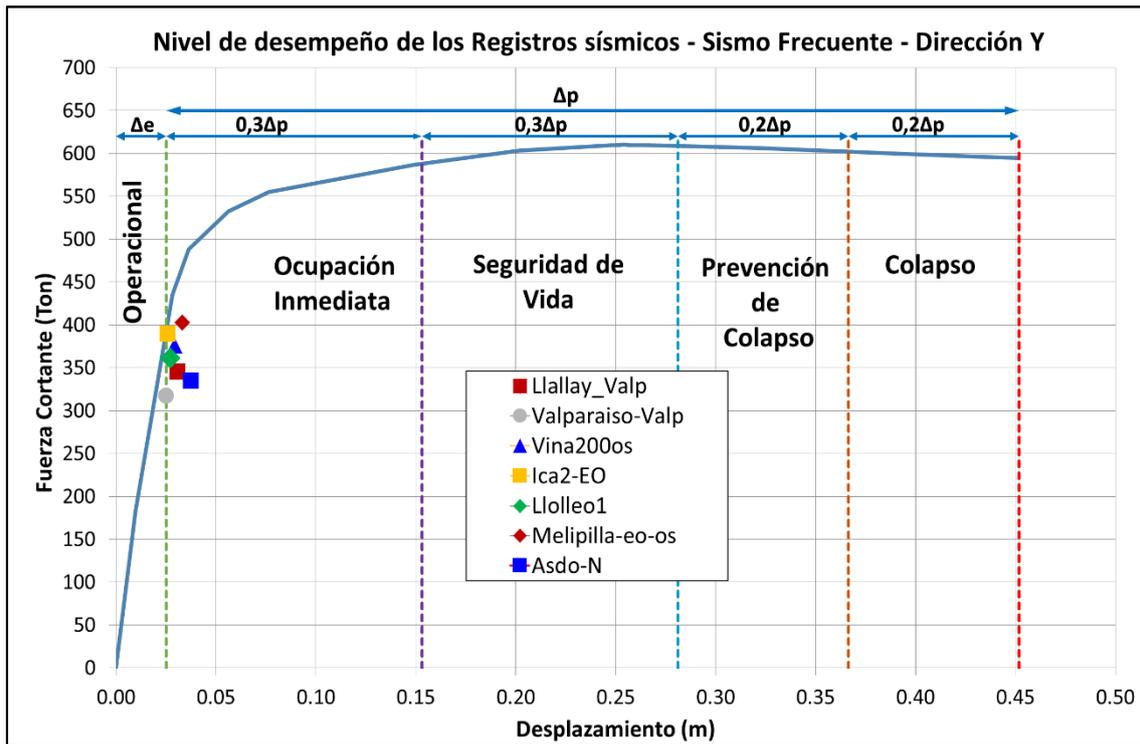


Figura 38. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Frecuente - Dirección Y.

En las Figuras 38 y 39 se muestran los resultados correspondientes al sismo Ocasional en dirección X y en dirección Y, respectivamente. Para la dirección X podemos notar que los puntos de desempeño no han variado mucho en comparación a los del sismo Frecuente, permaneciendo en el límite entre el Nivel Operacional y Ocupación Inmediata. En cambio, para la dirección Y los puntos de desempeño se encuentran todos en el nivel de Ocupación Inmediata.

En el caso del registro sísmico Asdo-N en dirección Y, podemos observar que el cortante basal para el sismo ocasional es menor que para el sismo frecuente, esto se debe a que el desplazamiento máximo del sismo Ocasional (ver Figura 25, Sección 3.4) no sigue el comportamiento de la curva Pushover del edificio.

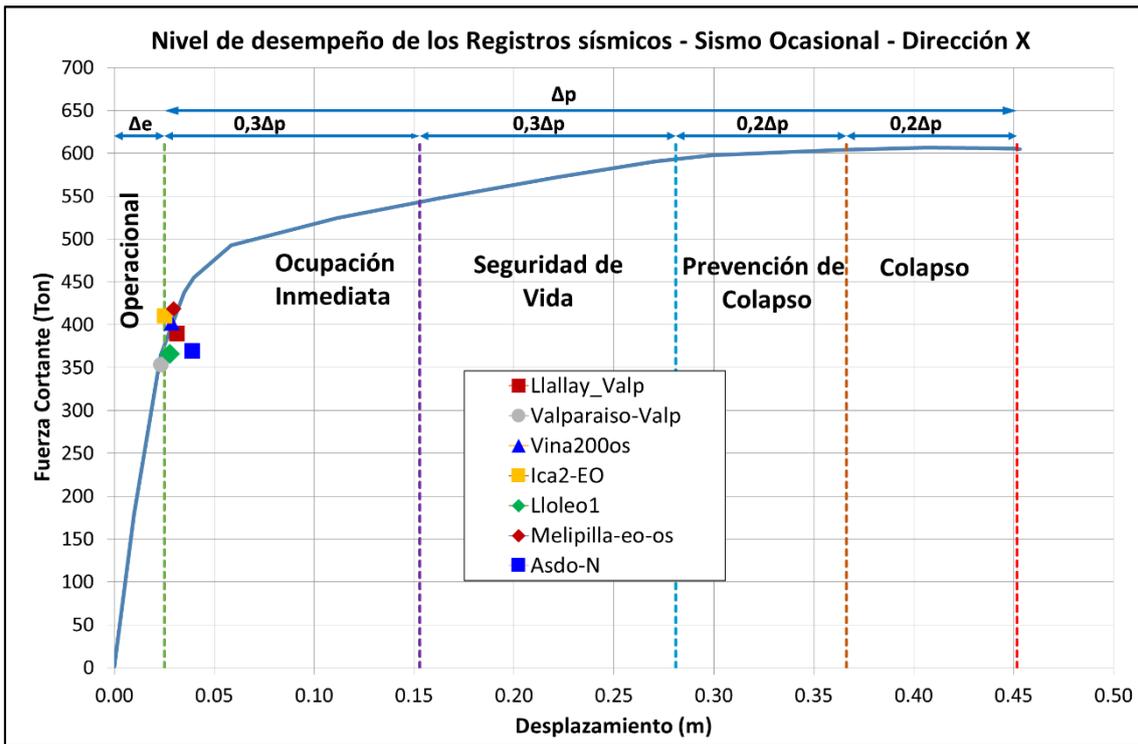


Figura 39. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Ocasional - Dirección X.

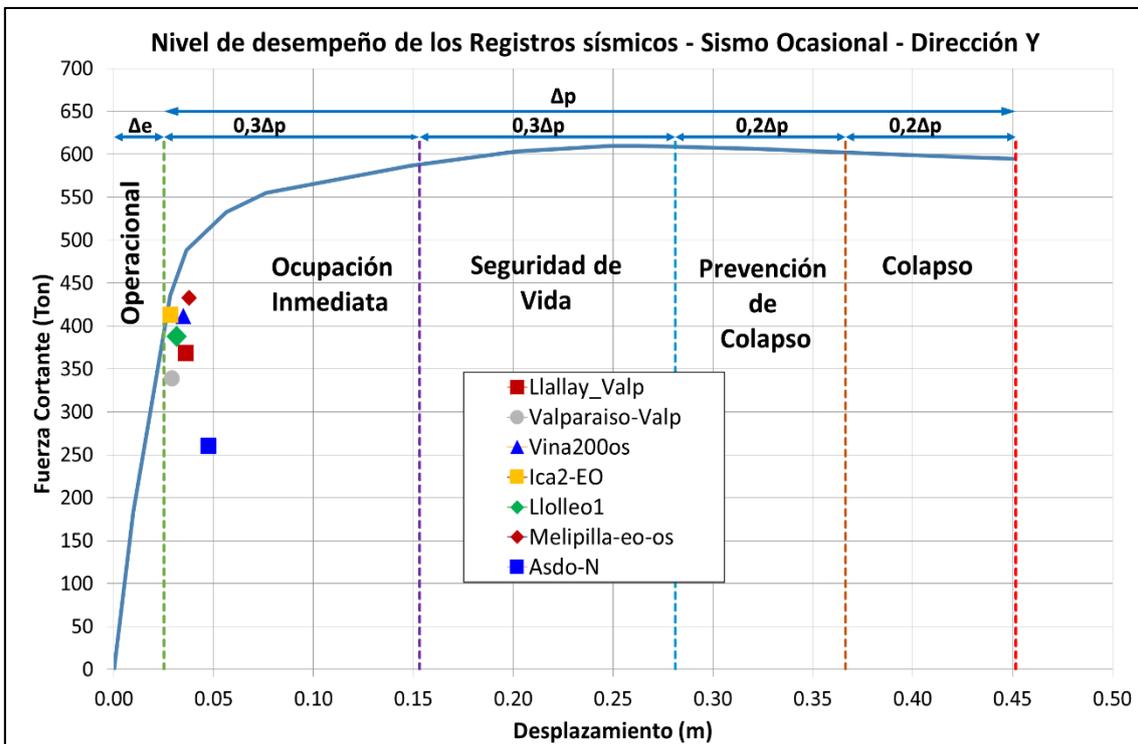


Figura 40. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Ocasional - Dirección Y.

En las figuras 40 a la 43 se muestran los resultados correspondientes al sismo Raro y Muy Raro en dirección X y Y. Para la dirección X podemos notar que los puntos de desempeño no han variado mucho en comparación a los del sismo Frecuente y Ocasional, permaneciendo en el límite entre el Nivel Operacional y Ocupación Inmediata. En cambio, para la dirección Y los puntos de desempeño se encuentran todos en el nivel de Ocupación Inmediata.

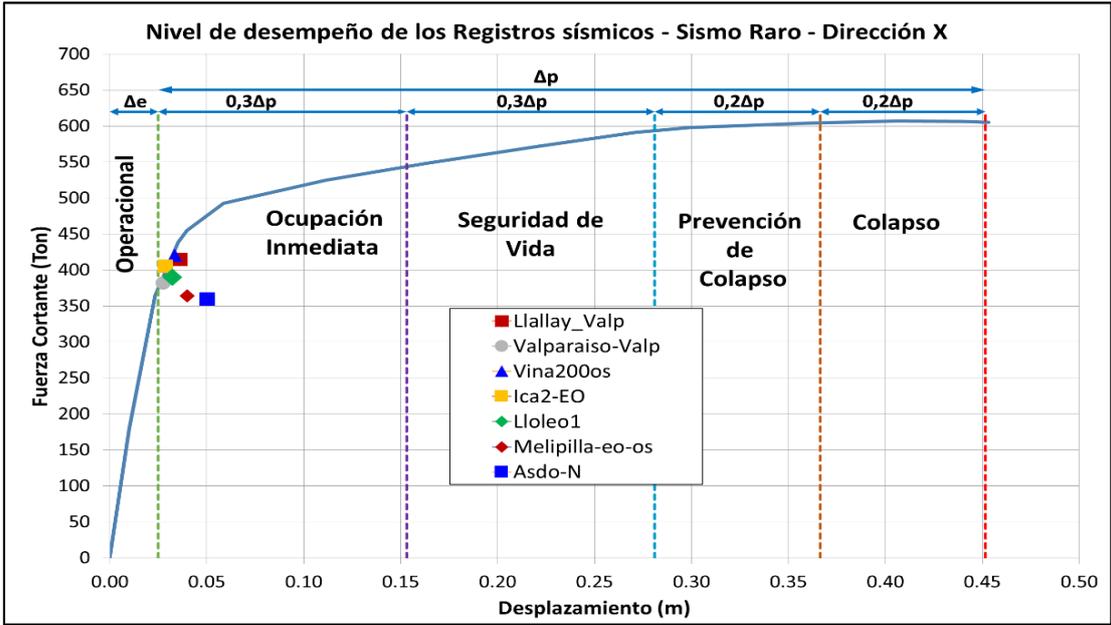


Figura 41. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Raro - Dirección X.

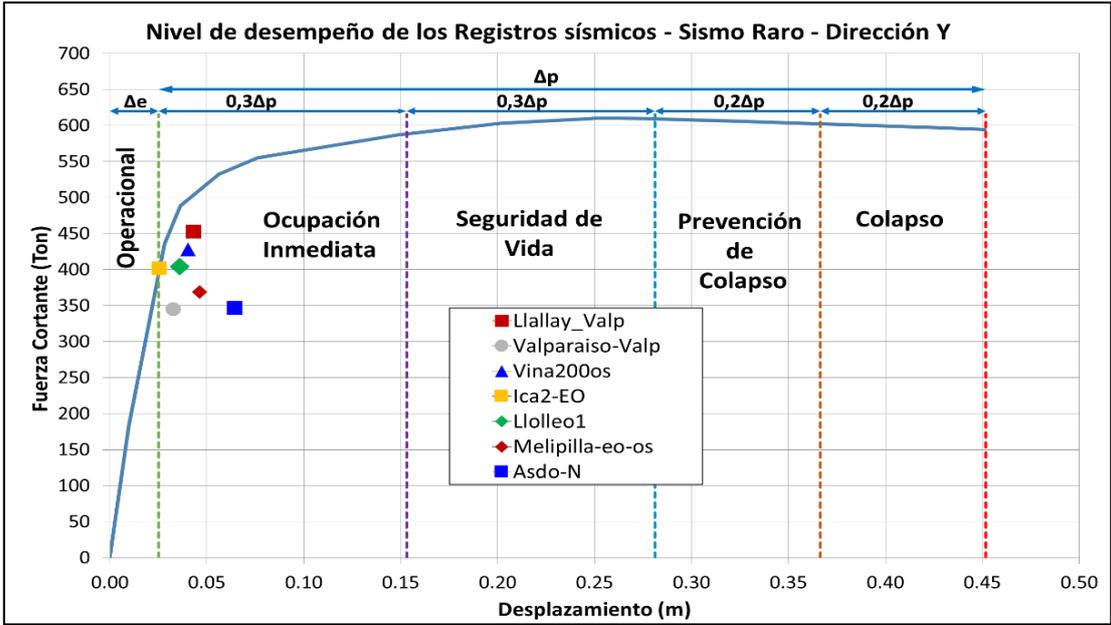


Figura 42. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Raro - Dirección Y.

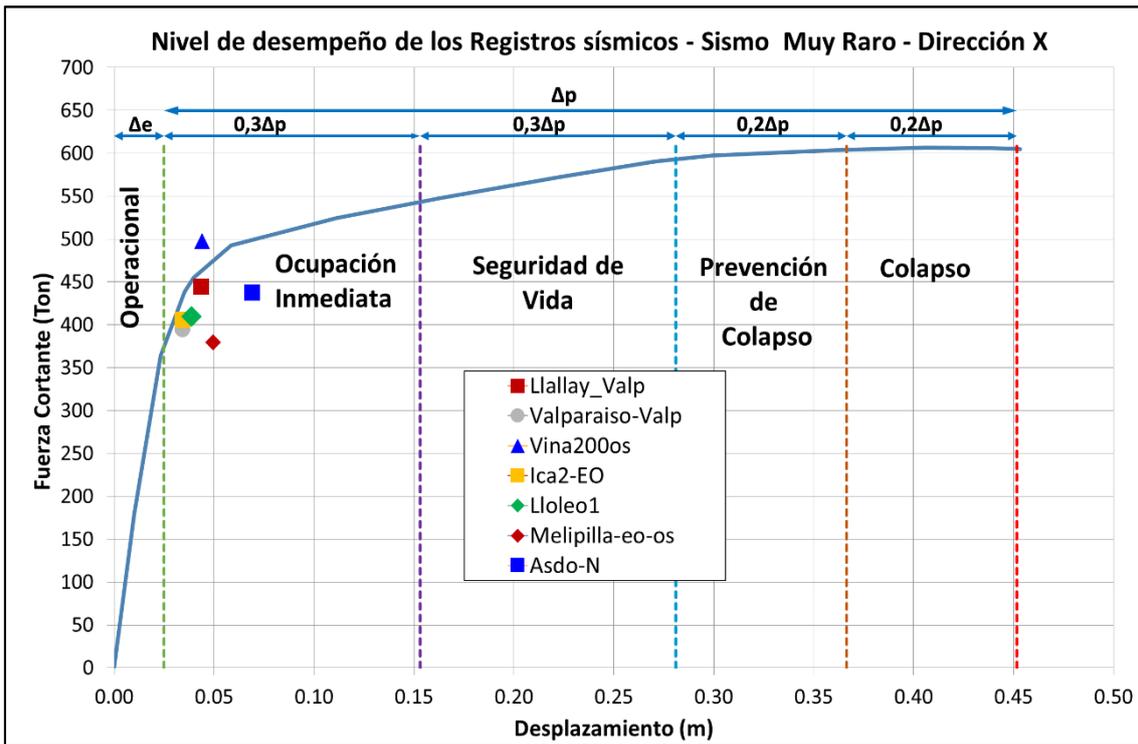


Figura 43. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Muy Raro - Dirección X.

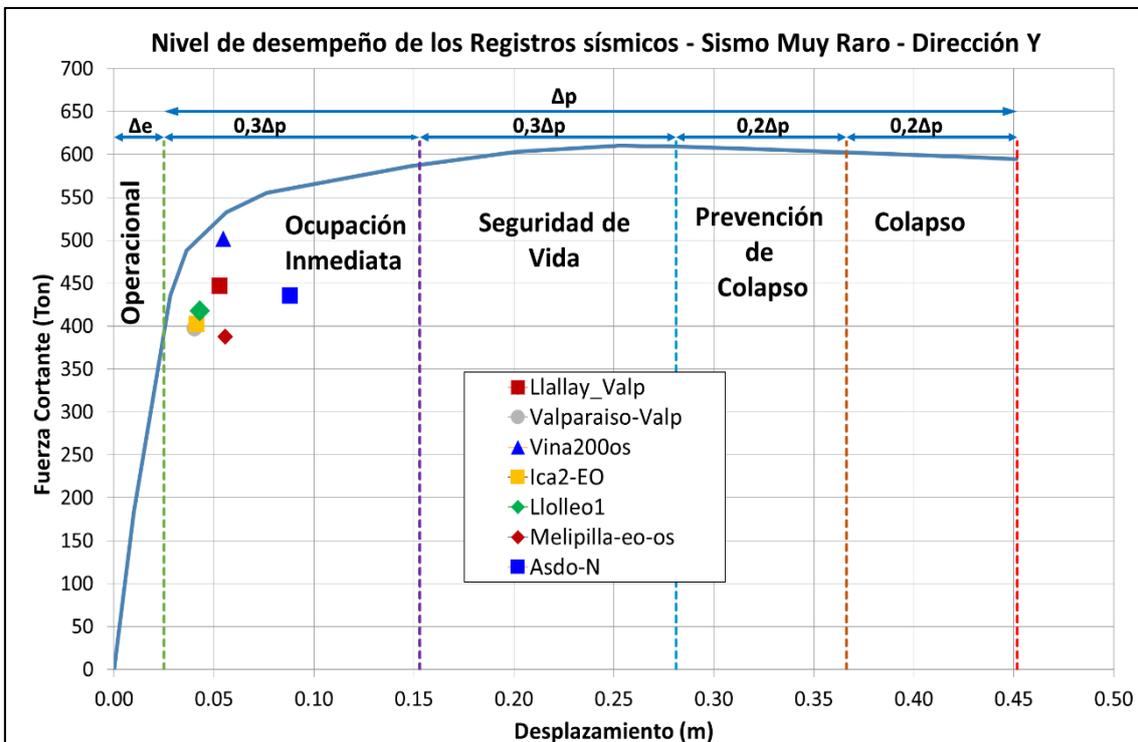


Figura 44. Nivel de desempeño de los registros sísmicos para un Sismo Muy Raro - Dirección Y.

5.3 COMPARACIÓN DEL NIVEL DE DESEMPEÑO PROMEDIO DE LA ESTRUCTURA PARA UN ANÁLISIS NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA (NL HR) VS UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL.

El nivel de desempeño promedio de la estructura sobre el sistema de aislamiento para un análisis No-lineal Historia de la Respuesta (NL-HR) y los resultados de un análisis estático no-lineal (E-NL) realizado por Dunn (2016) para los sismos Raro y Muy Raro se muestran en las Figuras 45, 46, 47, 48 en las direcciones X y Y.

Para la dirección X el desempeño del edificio en los sismos Raro y Muy Raro se encuentran en un nivel de ocupación inmediata. En la dirección Y los sismos Raro y Muy Raro se encuentran en un nivel de ocupación inmediata.

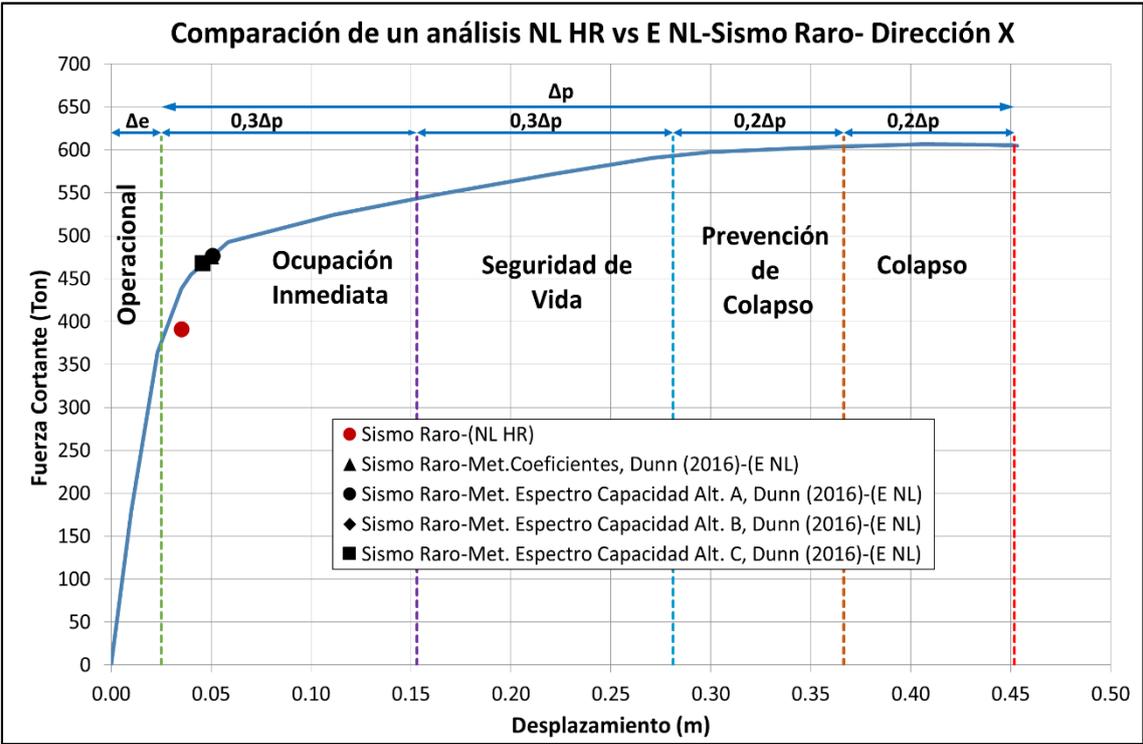


Figura 45. Niveles de desempeño para un análisis No-Linear Historia de la vs un análisis Estático No-Linear -Sismo Raro- Dirección X.

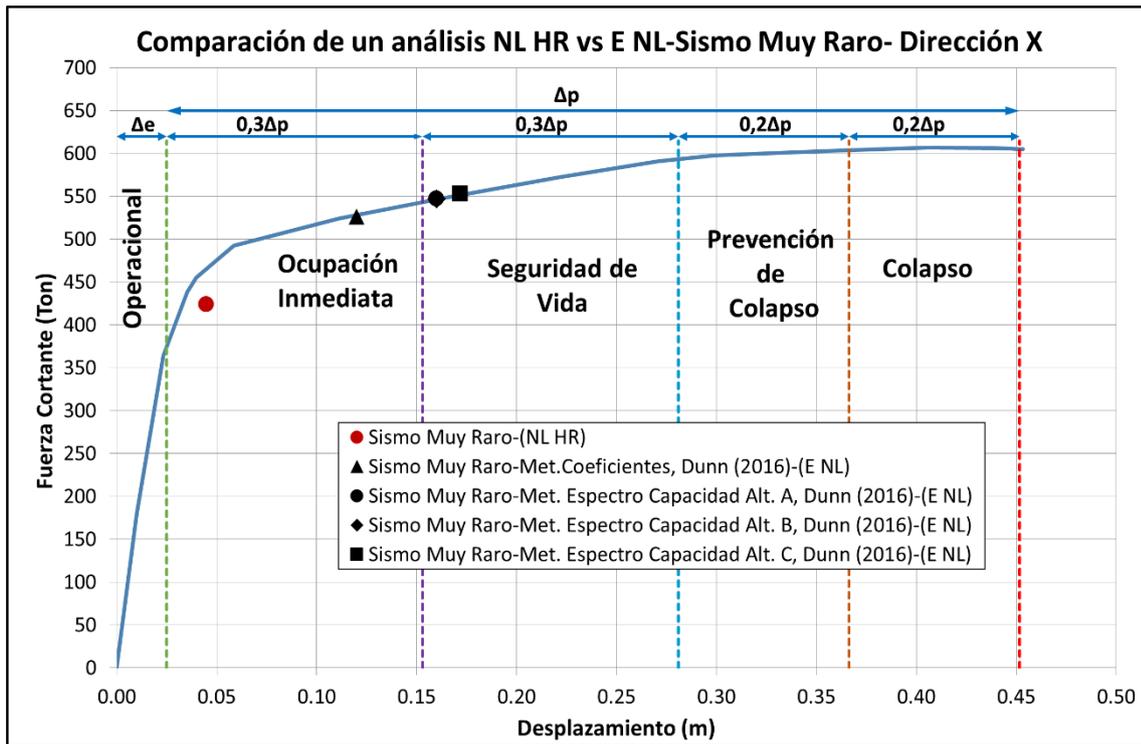


Figura 46. Niveles de desempeño para un análisis No-Linear Historia de la vs un análisis Estático No-Linear -Sismo Raro- Dirección Y.

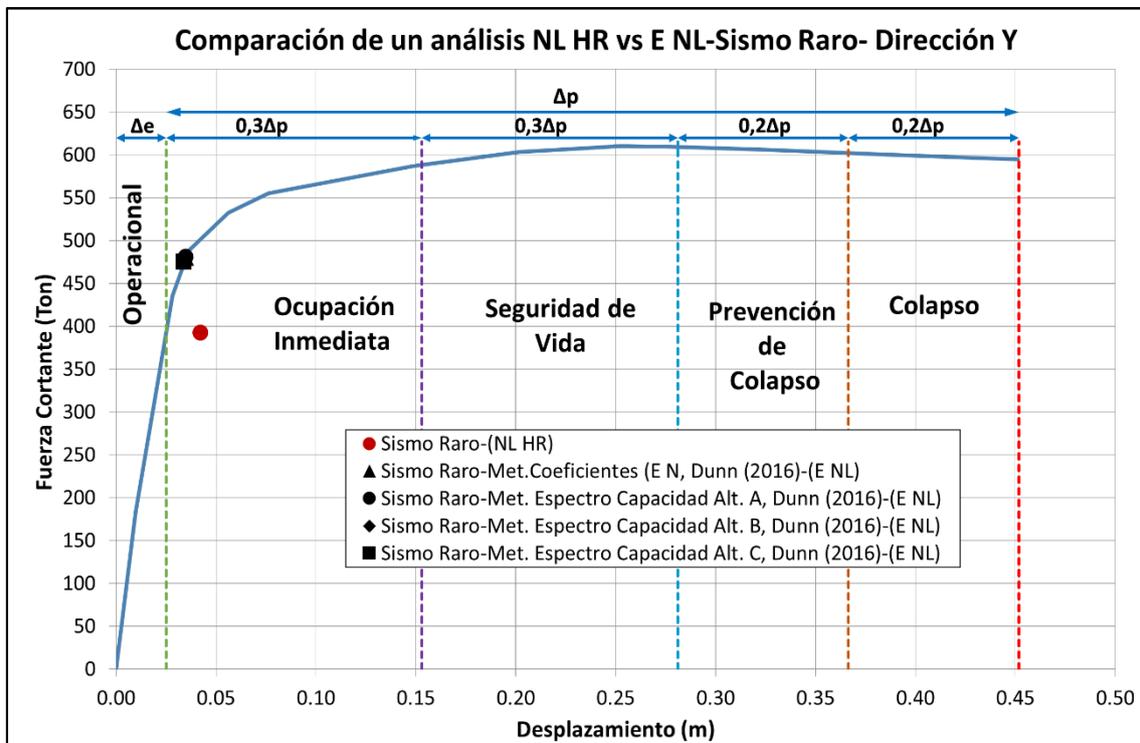


Figura 47. Niveles de desempeño para un análisis No-Linear Historia de la vs un análisis Estático No-Linear -Sismo Muy Raro- Dirección X.

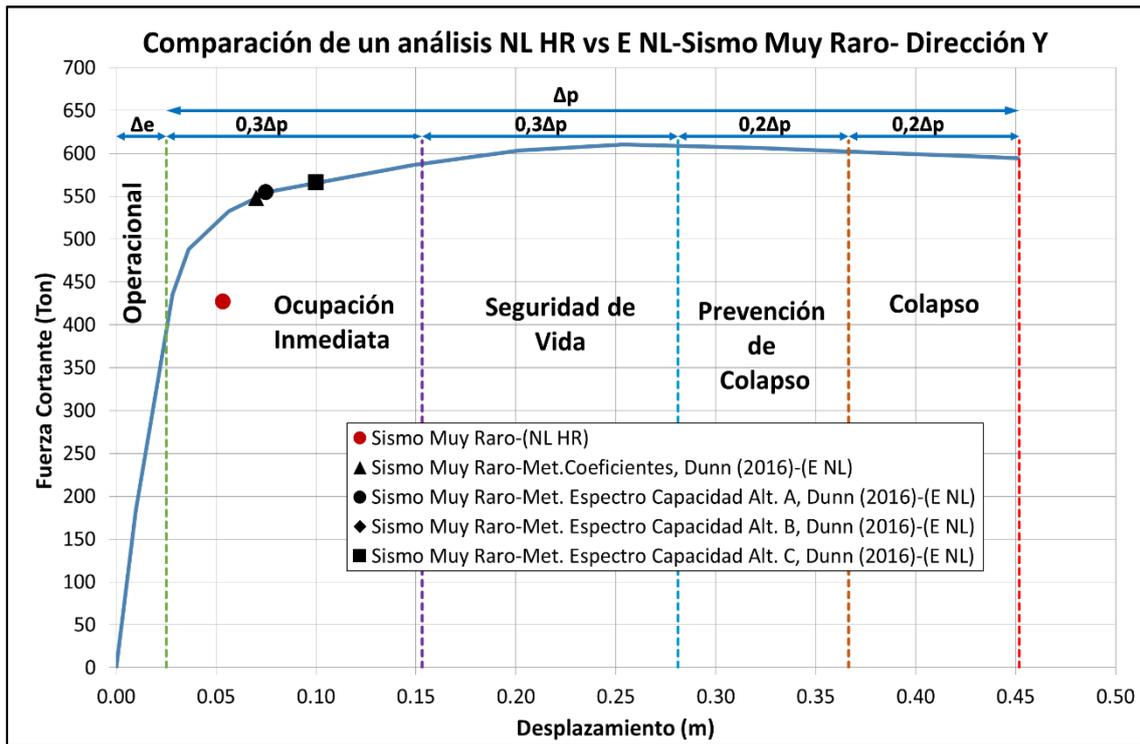


Figura 48. Niveles de desempeño para un análisis No-Linear Historia de la vs un análisis Estático No-Linear -Sismo Muy Raro- Dirección Y.

En las Tablas 46 y 47 se presenta un resumen de los desplazamientos promedios del edificio obtenidos mediante un análisis No-lineal Historia de la Respuesta con los obtenidos en Dunn (2016) mediante un análisis estático no-lineal (Pushover) por los 4 métodos de su estudio (Método de los Coeficientes, Método Espectro de Capacidad Alternativa A, Método Espectro de Capacidad Alternativa B, y Método Espectro de Capacidad Alternativa C) tanto para el Sismo Raro como para el Sismo Muy Raro en las direcciones X y Y.

Comparación de un análisis NL-HR vs E-NL				
Desplazamientos Edificio (cm)- Dirección X				
			NIVELES SÍSMICOS	
			Raro	Muy Raro
Análisis NL HR (Promedio 7 registros)			3.55	4.88
Análisis E NL	Método de los coeficientes		5.00	12.00
	Método Espectro Capacidad	Alternativa A	5.00	16.00
		Alternativa B	5.00	16.00
		Alternativa C	4.60	17,20

Tabla 46. Tabla resumen del nivel de desempeño para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal- Sismos Raro y Muy Raro - Dirección X.

Comparación de un análisis NL-HR vs E-NL				
Desplazamientos Edificio (cm)- Dirección Y				
			NIVELES SÍSMICOS	
			Raro	Muy Raro
Análisis NL HR (Promedio 7 registros)			4.25	5.37
Análisis E NL	Método de los coeficientes		3.50	7.00
	Método Espectro Capacidad	Alternativa A	3.50	7.50
		Alternativa B	3.50	7.50
		Alternativa C	3.40	10.00

Tabla 47. Tabla resumen del nivel de desempeño para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal- Sismos Raro y Muy Raro - Dirección Y.

Como se puede observar en las Tablas y las Figuras anteriores, los desplazamientos obtenidos mediante el análisis No-Lineal Historia de la Respuesta son menores a los calculados mediante el análisis No-Lineal Estático (Pushover), a excepción del sismo Raro en la dirección Y. En el caso el sismo Muy Raro, los desplazamientos del análisis No-Lineal Historia de la Respuesta pueden llegar a ser un 28% para la dirección X y 53% para la dirección Y, de los desplazamientos obtenidos mediante el análisis No-Lineal Estático (Pushover) realizado por Dunn (2016).

5.4 COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN MEDIANTE UN ANÁLISIS NO-LINEAL HISTORIA DE LA RESPUESTA (NL HR) VS UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL.

El desempeño del sistema de aislación será evaluado por medio del desplazamiento del sistema de aislación ante el sismo Muy Raro, por ser este el más crítico. En las Tablas 48 y 49 se muestra el desplazamiento del sistema de aislación obtenido mediante un análisis No-Lineal Historia de la Respuesta en comparación un análisis Estático No-Lineal realizado por Dunn (2106) para las direcciones X y Y.

Comparación de un análisis NL-HR vs E-NL			
Desplazamientos Máximos - Sistema de Aislación (cm)			
Dirección X			
			NIVEL SÍSMICO
			Muy Raro
Análisis NL HR (Promedio 7 registros)			34.60
Análisis E NL	Método de los coeficientes		46.60
	Método Espectro Capacidad	Alternativa A	49.12
		Alternativa B	49.12
		Alternativa B	49.45

Tabla 48. Desempeño del Sistema de Aislación para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal- Sismo Muy Raro - Dirección X.

Comparación de un análisis NL-HR vs E-NL			
Desplazamientos Máximos - Sistema de Aislación (cm)			
Dirección Y			
			NIVEL SÍSMICO
			Muy Raro
Análisis NL HR (Promedio 7 registros)			34.30
Análisis E NL	Método de los coeficientes		50.00
	Método Espectro Capacidad	Alternativa A	52.50
		Alternativa B	52.50
		Alternativa B	50.80

Tabla 49. Desempeño del Sistema de Aislación para un análisis No-Lineal Historia de la vs un análisis Estático No-Lineal- Sismo Muy Raro - Dirección Y.

Como se puede observar en las Tablas anteriores, los desplazamientos del sistema de aislación obtenidos mediante el análisis No-Lineal Historia de la Respuesta son menores a los calculados mediante el análisis No-Lineal Estático (Pushover). Los desplazamientos del análisis No-Lineal Historia de la Respuesta son aproximadamente el 70% y 67% de los desplazamientos obtenidos mediante el análisis No-Lineal Estático (Pushover) realizado por Dunn (2016) para la dirección X y Y, respectivamente.

5.5 OBSERVACIONES DE LAS ACELERACIONES PARA LOS REGISTROS SÍSMICOS A DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.

En esta sección se analizaron los valores de aceleraciones obtenidos en la Sección 4.2 de este trabajo.

Lo primero que podemos notar es que, en todos los casos, las aceleraciones máximas de los pisos son menores a las aceleraciones máximas del suelo. Segundo, las aceleraciones de casa piso aumentan a medida que aumenta el nivel sísmico en estudio. Y finalmente, las aceleraciones de los pisos no siguen un patrón específico (no son necesariamente mayores o menores a las aceleraciones de los pisos superiores). Como ejemplo se repite la Tabla 45 con las aceleraciones absolutas de los pisos para el registro Asdo-N en dirección Y.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Asdo-N - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	3.65	4.92	6.53	9.05
Piso 3	2.28	3.07	4.18	5.78
Piso 2	1.36	1.61	1.82	2.24
Piso 1	2.46	3.35	4.54	6.15
Suelo	8.71	11.98	16.34	23.96

Tabla 45. Aceleraciones máximas del edificio sobre el sistema de aislación para el Sismo Asdo-N - Dirección Y.

En la Figura 49 se muestra las aceleraciones máximas del edificio sobre el sistema de aislación debido al sismo Asdo-N en la dirección Y para el nivel sísmico Muy Raro.

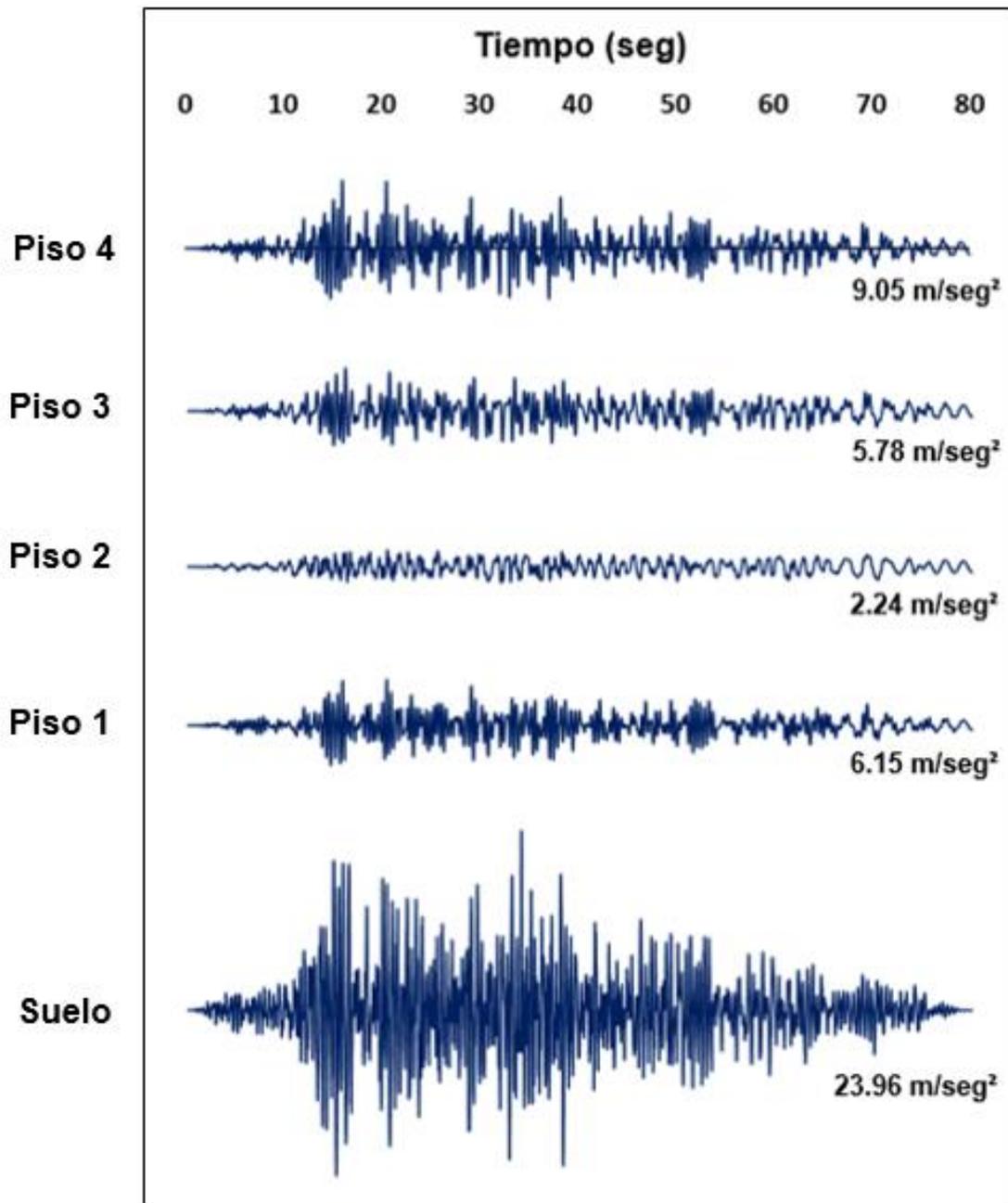


Figura 49. Aceleraciones absolutas del edificio sobre el sistema de aislación registro Asdo-N -Sismo Muy Raro- Dirección Y.

Para notar los beneficios del sistema de aislación, se calcularon las aceleraciones absolutas de los pisos del edificio sin sistema de aislación. Por simplificación, este análisis se lo realizó sin considerar las rótulas plásticas consideradas por Loor (2015) y Dunn (2016). Ya que este modelo no considera ningún tipo de no-linealidad, se decidió hacer un análisis lineal en el tiempo. En la Tabla 50 se muestran las

aceleraciones obtenidas debido al mismo registro aplicado a la estructura aislada del ejemplo anterior.

Aceleraciones máximas (m/seg²)				
Estructura Original				
Asdo-N - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	30.70	42.22	57.57	17.82
Piso 3	25.19	34.63	47.22	15.88
Piso 2	15.05	20.70	28.22	9.88
Suelo – Piso 1	8.71	11.98	16.34	23.96

Tabla 50. Aceleraciones máximas del edificio original (sin aislación) para el Sismo Asdo-N - Dirección Y.

Para el caso del edificio sin sistema de aislación el primer piso se moverá igual que el suelo, es por ello que en la Figura 50 y 51 y en la Tabla 50, estos niveles se unificaron.

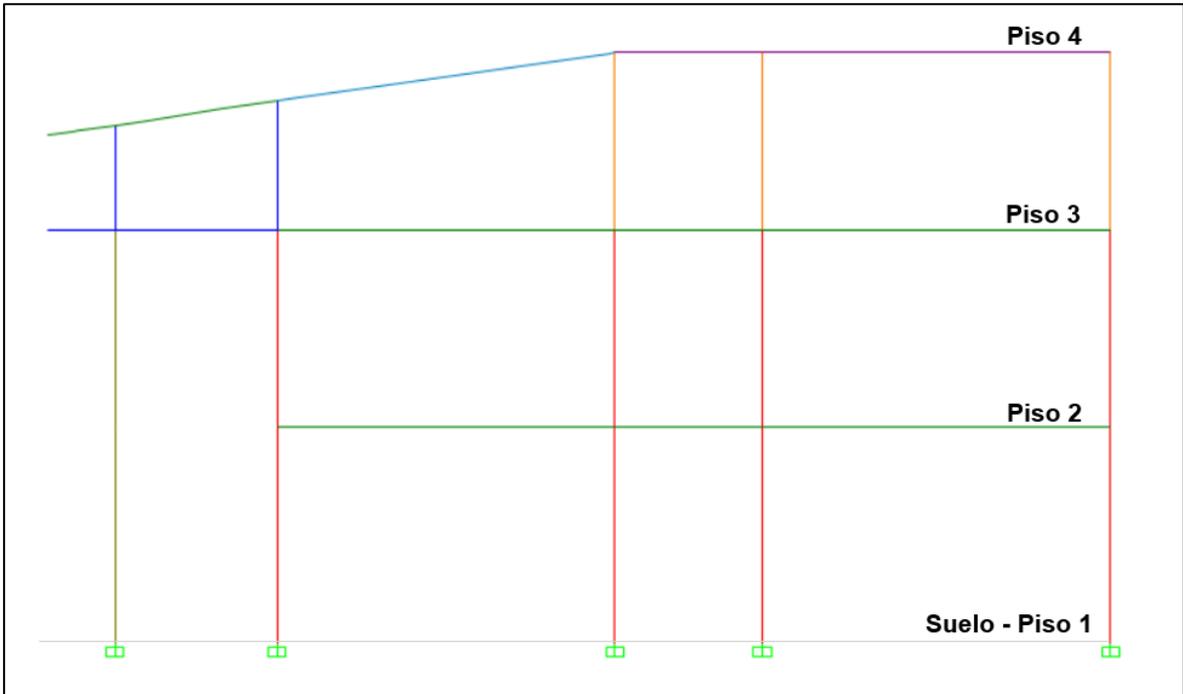


Figura 50. Elevación del Edificio Original de la Facultad de Ingeniera (sin aislación).

En la Figura 51 se muestra gráficamente las aceleraciones absolutas del ejemplo sin sistema de aislación para el nivel sísmico Muy Raro.

De la Tabla 50 y la Figura 51 se puede observar que, para el edificio original (sin aislación), las aceleraciones absolutas van aumentando conforme aumenta la altura de los pisos. Además, las aceleraciones de los pisos son mayores a las aceleraciones del suelo para un mismo nivel sísmico. Finalmente, las aceleraciones aumentan proporcionalmente al PGA de los niveles sísmicos, esto debido a que es un análisis lineal.

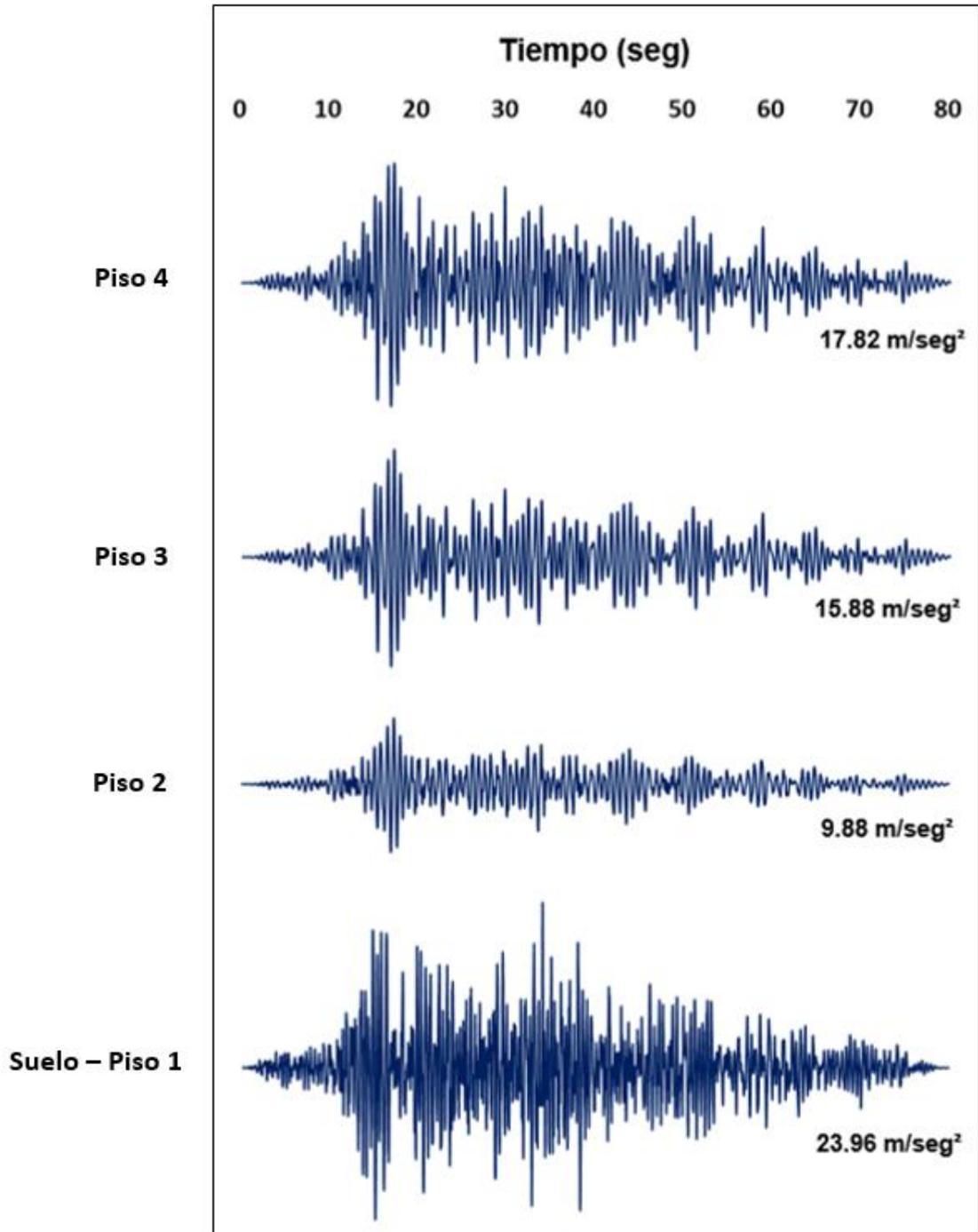


Figura 51. Aceleraciones absolutas del edificio original registro Asdo-N -Sismo Muy Raro- Dirección Y.

Para el diseño y evaluación de la estructura o los elementos no-estructurales, el ASCE7-10 y el FEMA 450 permiten usar el promedio de las respuestas en los casos que se utilice 7 o más registros sísmicos. A continuación, se presenta los promedios de las aceleraciones absolutas del edificio sobre el sistema de aislación para todos los niveles sísmicos tanto en dirección X como en Y.

Aceleraciones absolutas promedio (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Promedio (7 Registros sísmicos) - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	2.00	2.54	3.34	4.56
Piso 3	1.61	1.92	2.35	3.05
Piso 2	1.34	1.53	1.71	2.01
Piso 1	1.68	2.14	2.70	3.51
Suelo	5.19	7.24	10.09	15.20

Tabla 51. Aceleraciones absolutas promedio - Dirección X.

Aceleraciones absolutas promedio (m/seg²)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
Promedio (7 Registros sísmicos) - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 4	2.18	2.80	3.63	5.00
Piso 3	1.68	2.04	2.53	3.26
Piso 2	1.37	1.58	1.75	2.48
Piso 1	1.76	2.25	2.85	3.91
Suelo	5.19	7.24	10.09	15.20

Tabla 52. Aceleraciones absolutas promedio - Dirección Y.

Como se puede observar en las Tablas anteriores, las aceleraciones absolutas promedio son considerablemente menores a las máximas aceleraciones del registro para su respectivo nivel sísmico.

5.6 OBSERVACIONES DE LAS DERIVAS DE ENTREPISO PARA LOS REGISTROS SÍSMICOS A DIFERENTES NIVELES SÍSMICOS.

En esta sección se realiza un análisis a los valores de derivas de piso obtenidas en la Sección 4.3 de este trabajo.

En las Tablas 32 a la 45 se observa que las derivas de entrepiso no necesariamente aumentan conforme aumentan los niveles sísmicos. Incluso se encontraron diferencias en la variación (aumento o disminución) de las derivas de piso de diferentes niveles del edificio para el mismo registro sísmico. Por ejemplo, para el registro Valparaiso_Valp en dirección X, la deriva de entrepiso del piso 1-2 va aumentando conforme aumenta el nivel sísmico; sin embargo, para el mismo caso la deriva del piso 3-4 aumenta del sismo Frecuente al Ocasional y luego vuelve a bajar del Ocasional al sismo Raro.

En ninguno de los casos evaluados las derivas superan el 6 por mil (0.006), valor por debajo de lo requerido por las normas.

En general, las derivas de piso son menores en los pisos superiores del edificio.

Para el diseño y evaluación de la estructura o los elementos no-estructurales, el ASCE7-10 y el FEMA 450 permiten usar el promedio de las respuestas en los casos que se utilice 7 o más registros sísmicos. A continuación, se presenta los promedios de las derivas de entrepisos para todos los niveles sísmicos tanto en dirección X como en Y.

Derivas entrepiso promedio (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
7 Registros sísmicos - Dirección X				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000677	0.000642	0.000772	0.001086
Piso 2-3	0.001694	0.001705	0.001970	0.002658
Piso 1-2	0.003091	0.003262	0.003604	0.004401

Tabla 53. Derivas entrepiso promedio - Dirección X.

Derivas entrepiso promedio (m)				
Estructura sobre Sistema de Aislación				
7 Registros sísmicos - Dirección Y				
# de Pisos	NIVELES SÍSMICOS			
	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
Piso 3-4	0.000858	0.000763	0.000895	0.001530
Piso 2-3	0.002118	0.001966	0.002315	0.003420
Piso 1-2	0.003488	0.003584	0.003941	0.005119

Tabla 54. Derivas entrepiso promedio - Dirección Y.

Como se puede observar en las Tablas anteriores, las derivas entrepiso promedio para las direcciones X y Y aumentan conforme aumentan los niveles sísmicos y las mismas disminuyen acorde ascienden los pisos en cada nivel sísmico.

Finalmente, las derivas de piso promedios no superan lo requerido por las normas al tener una máxima deriva de piso de 0.005119 m para el sismo Muy Raro.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 RESUMEN

En este trabajo se estudió el desempeño de la rehabilitación del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil. La rehabilitación de este edificio consiste en la incorporación de aisladores sísmicos de base, la cual fue propuesta en un estudio anterior realizado por Dunn (2016) mediante un análisis No-lineal Estático (Pushover).

En el presente estudio se realizó por medio de un análisis No-lineal Historia de la Respuesta, para la cual se realizaron los siguientes pasos:

- Se determinaron los espectros de respuesta elástica de un suelo tipo D con zona V según lo especificado en NEC 15 para los diferentes niveles de amenaza sísmica: Frecuente, Ocasional, Raro y Muy Raro.
- Se utilizaron 7 registros sísmicos los cuales se originaron por fallas de subducción y correspondientes a suelo intermedio y duro:
 1. Llallay_Valp, de Chile (Suelo duro).
 2. Valparaiso-Valp, de Chile (Suelo duro).
 3. Vina200os, de Chile (Suelo duro).
 4. Ica2-EO, de Perú (Suelo duro).
 5. Lollo1, de Chile (Suelo duro).
 6. Melipilla-eo-os, de Chile (Suelo duro).
 7. Asdo-N, de Ecuador capturado en Santo Domingo de los Tsáchilas (Suelo intermedio).

Estos registros fueron escalados de tal manera que las aceleraciones de sus espectros al periodo principal de vibración (edificio aislado) coincidan con las aceleraciones de los espectros elásticos del NEC-15 para los diferentes niveles sísmicos.

- Se determinó la histéresis Cortante Basal versus Desplazamiento del último piso para la dirección longitudinal (dirección X) y transversal (dirección Y) del edificio aislado mediante un análisis No-lineal Historia de la Respuesta para

todos los registros (7) en estudio y todos los niveles sísmicos en las direcciones X y Y.

Se comparó el comportamiento histerético con la curva de capacidad (Pushover) del edificio con aislación calculada por Dunn (2016). La curva histerética seguía la forma de la curva de capacidad de manera satisfactoria.

- Se determinó el desplazamiento máximo de la estructura sobre el sistema de aislación para todos los registros (7) en estudio en los diferentes niveles sísmicos para las direcciones X y Y. Se encontró que algunos desplazamientos no coincidían con la curva de capacidad (Pushover) de la estructura sobre el sistema de aislación calculada por Dunn (2016). En este trabajo no se estudió a profundidad la causa de dichas diferencias.
- Se determinó el nivel de desempeño de la estructura para cada registro y nivel sísmico en las direcciones X y Y mediante la sectorización de la curva de capacidad realizada por Dunn (2016). Se observó que las máximas demandas sísmicas resultaron en un desempeño de “Ocupación Inmediata” del edificio, siendo este muy satisfactorio.
- Se determinó el nivel de desempeño promedio de la estructura sobre el sistema de aislación para los diferentes niveles sísmicos promediando los desplazamientos máximos de los 7 registros sísmicos en cada dirección de estudio (X y Y). El nivel de desempeño en todos los casos fue de “Ocupación Inmediata”
- Los desplazamientos máximos promedio para el sismo Muy Raro fueron de 4.48 y 5.37 cm para la dirección X y Y, respectivamente. Los cortantes basales máximo promedio para el sismo Muy Raro fueron de 424.01 y 426.91 Ton para la dirección X y Y, respectivamente.
- Se determinó el desempeño del sistema de aislación mediante el cálculo del desplazamiento de los aisladores para el sismo Muy Raro. Se obtuvo que el máximo desplazamiento del sistema de aislación fue de 34.60 y 34.30 cm en las direcciones X y Y, respectivamente. Estos resultados fueron menores a los obtenidos por Dunn (2016) para el mismo sismo siendo estos 49 y 51 cm en promedio.

- Se calcularon las aceleraciones absolutas máximas del edificio sobre el sistema de aislación en cada piso para los 7 registros sísmicos a los distintos niveles sísmicos en las direcciones de estudio X y Y.

Las aceleraciones absolutas de los pisos resultaron menores a las aceleraciones máximas del suelo (PGA) en todos los casos en estudio. Las aceleraciones de cada piso aumentaron conforme aumentaba el nivel de desempeño investigado. En cada caso, las aceleraciones de los pisos eran similares entre sí, sin ningún orden de amplificación establecido. Este comportamiento difiere de la estructura sin aislación donde se pudo comprobar que las aceleraciones de los pisos eran mayores a las aceleraciones máximas del suelo y se incrementaban a medida que aumentaba la altura del piso analizado.

- Se calcularon las derivas de entrepiso del edificio sobre el sistema de aislación para los 7 registros sísmicos a los distintos niveles sísmicos en las direcciones de estudio X y Y.

En todos los casos, las derivas de entrepiso fueron disminuyendo a medida que aumentaba la altura del piso en estudio. La máxima deriva de entrepiso obtenida fue de 0.007 para el sismo Muy Raro, la cual es mucho menor a la deriva de entrepiso máxima de la NEC-15, la cual es 0.02 para el sismo de diseño (sismo Raro).

6.2 CONCLUSIONES

- El comportamiento de la estructura (histéresis), obtenida mediante un análisis No-lineal Historia de la Respuesta, se ajusta de manera satisfactoria a la curva de capacidad (Pushover) obtenida por Dunn (2016). Sin embargo, el comportamiento de la estructura sobre el sistema de aislación no se ajustó, en algunos casos, a la curva de capacidad de la misma obtenida por Dunn (2016); esto debe investigarse de manera más profunda.
- Se considera que el análisis No-lineal Historia de la Respuesta es un análisis más realístico y exacto que el análisis No-lineal Estático ya que toma en cuenta el comportamiento cíclico del sistema de aislación, y por ende el amortiguamiento “real” que provee los aisladores.

- El análisis No-lineal Historia de la Respuesta, realizado en este estudio, mostró un mejor desempeño estructural al reportado por Dunn (2016) mediante un análisis No-lineal Estático.
- De igual manera, el desempeño del sistema de aislación mejoró con el uso de un análisis No-lineal Historia de la Respuesta, obteniendo desplazamientos de los aisladores de hasta un 70% a los obtenidos por el análisis No-lineal Estático, Dunn (2016).
- El análisis No-lineal Historia de la Respuesta nos permite analizar las aceleraciones de los pisos del edificio, lo cual no puede ser estudiado por medio del análisis No-lineal Estático.

Se observó que con el uso del sistema de aislación las aceleraciones máximas en los pisos son menores a las aceleraciones máximas del suelo y que las aceleraciones de los pisos son similares entre sí para cada caso en estudio. Además, se demostró su beneficio al estudiar al edificio sin sistema de aislación mediante el Análisis No-lineal Historia de la Respuesta, donde se obtuvo aceleraciones máximas de pisos mayores a las aceleraciones máximas del suelo y se observó que las aceleraciones máximas se van incrementando para los pisos superiores. Esta disminución de las aceleraciones en los pisos es muy importante para evitar daños no estructurales en el edificio.

- Finalmente, se obtuvo derivas de piso mucho menores a las establecidas en la norma NEC-15. Esto evita también, los daños no estructurales, sobre todo en las paredes del edificio.

6.3 RECOMENDACIONES

Este trabajo puede servir como base para el análisis de otras estructuras rehabilitadas con aislación sísmica. Así mismo, puede estudiarse con mayor profundidad los aspectos no atendidos en este trabajo como son los siguientes:

- Estudiar el comportamiento de estructuras aisladas mediante el análisis No-lineal Historia de la Respuesta por el método de Integración Directa y comparar los resultados obtenidos mediante el análisis modal (FNA)
- Estudiar con mayor profundidad el comportamiento histerético del edificio sobre el sistema de aislación y su comparación con la curva de capacidad (Pushover).

Estudiar si la determinación del desempeño sísmico por medio del cálculo del desplazamiento es mejor al uso del valor del cortante basal.

- Estudiar el comportamiento del edificio sin aislación mediante el análisis No-lineal Historia de la Respuesta y compararlo con los resultados de este estudio.
- Determinar cuantitativamente y cualitativamente el daño no estructural en base a las aceleraciones y derivas de piso obtenidas en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Dunn, K., (2016). Rehabilitación Estructural de la Facultad de Ingeniería mediante Aisladores Sísmicos.
- Loor, D., (2015). Comportamiento Lineal y no Lineal del Edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). NEC. Capítulo 2: Peligro sísmico y Requisitos de Diseño Sismo – Resistentes, Ecuador.
- Computers & Structures, Inc. (2015). CSI Analysis Reference Manual – Etabs 2015.
- Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency. (2004). SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURE DESIGN REQUIREMENTS. En NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES (FEMA 450). Washington, D C.
- American Society of Civil Engineers. (2010). SEISMIC DESIGN REQUIREMENTS FOR SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURES. En A. S. Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Reston, Virginia 20191: American Society of Civil Engineers 1801 Alexander Bell Drive.

ANEXOS

APÉNDICE A

1. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.

Para un nivel sísmico Frecuente con una tasa anual de excedencia de 0.01389, un suelo tipo D y Zona sísmica V- Alta tenemos:

- El factor r igual a 1 para un suelo tipo D.
- Aceleración máxima en el terreno $Z = 0.20$
- $S_a = 0.35 \Rightarrow \eta = S_a/Z = 0.35 / 0.20 = 1.75$
- Coeficientes de amplificación del suelo: $F_a = 1.50$, $F_d = 1.535$, $F_s = 1.04$.

En la Figura 52 se muestra el espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Frecuente.

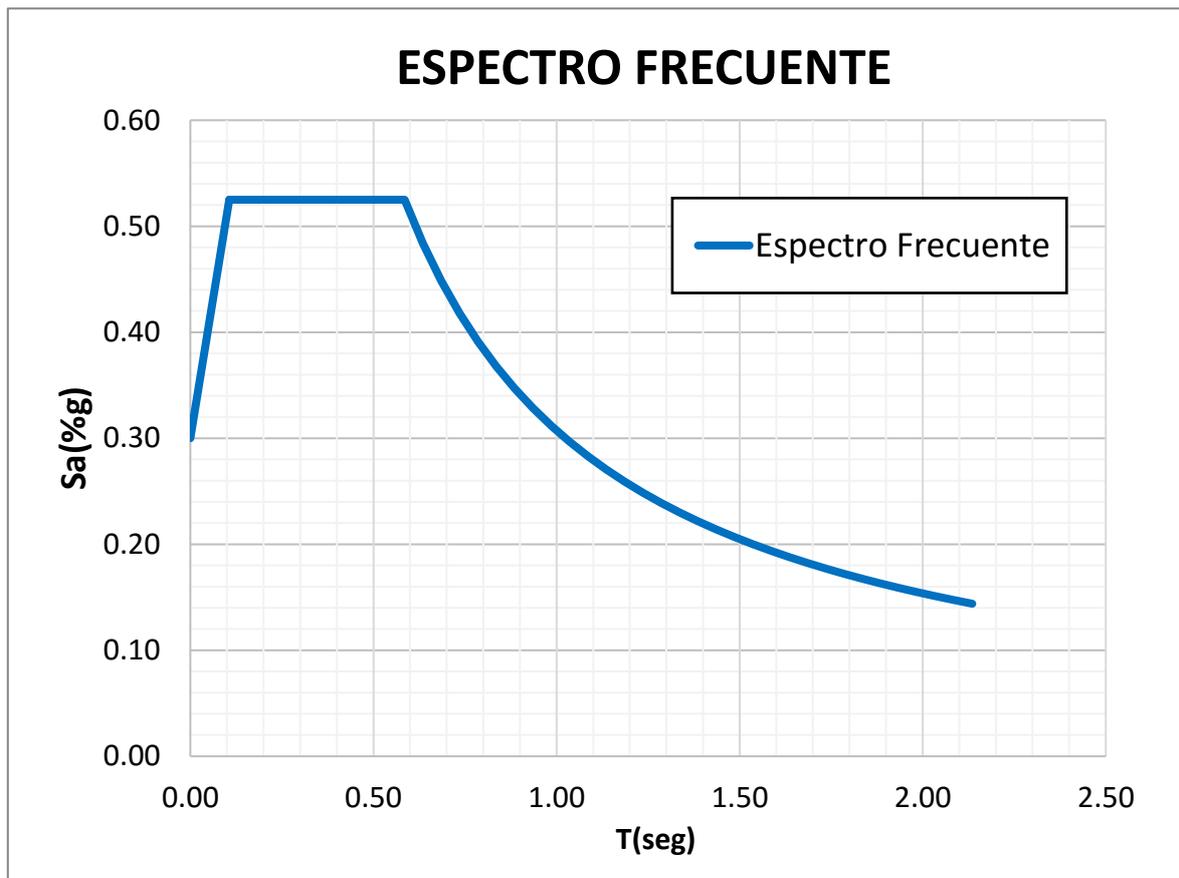


Figura 52. Espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Frecuente.

2. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.

Para un nivel sísmico Ocasional con una tasa anual de excedencia de 0.00444, un suelo tipo D y Zona sísmica V- Alta tenemos:

- El factor r igual a 1 para un suelo tipo D.
- Aceleración máxima en el terreno $Z = 0.30$
- $S_a = 0.525 \Rightarrow \eta = S_a/Z = 0.525 / 0.30 = 1.75$
- Coeficientes de amplificación del suelo: $F_a = 1.30$, $F_d = 1.36$, $F_s = 1.11$.

En la Figura 53 se muestra el espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Ocasional.

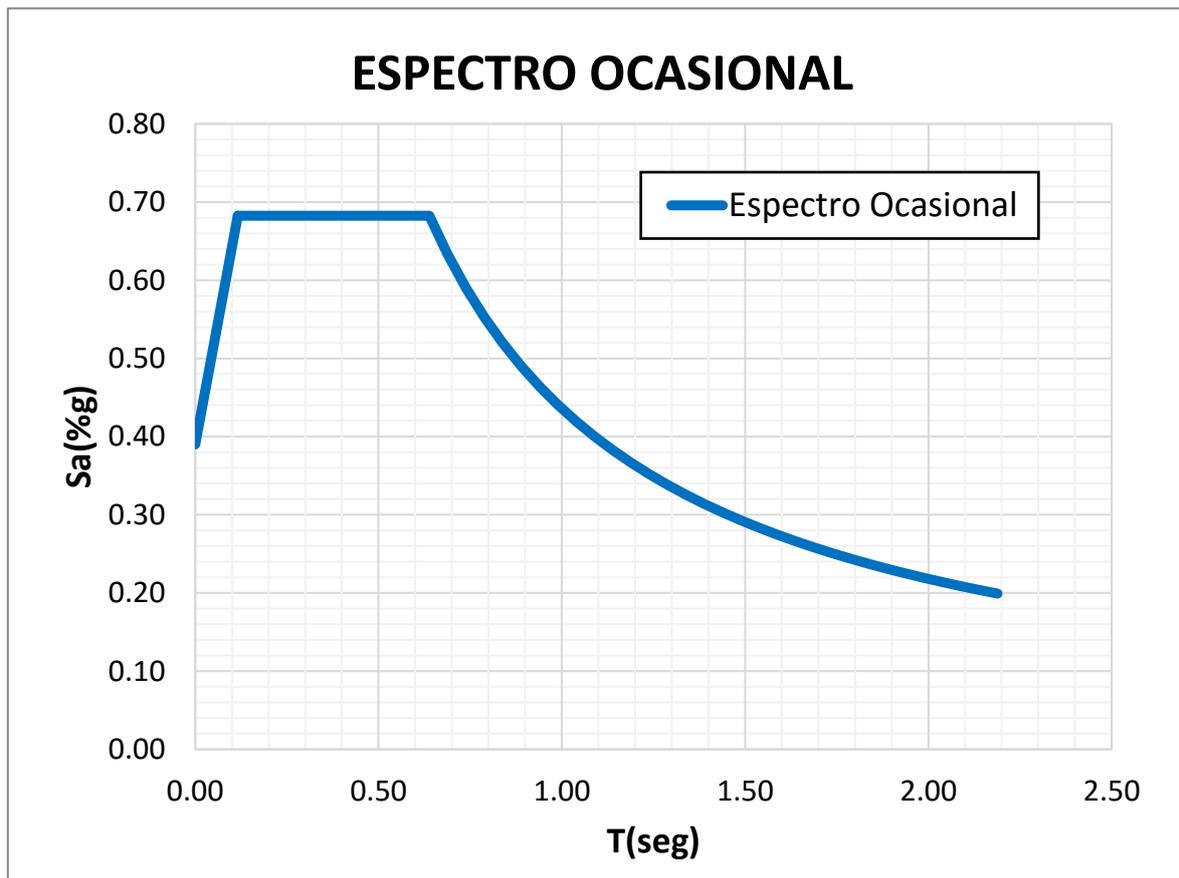


Figura 53. Espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Ocasional.

3. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA EL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.

Para un nivel sísmico Raro-Diseño con una tasa anual de excedencia de 0.00211, un suelo tipo D y Zona sísmica V- Alta tenemos:

- Aceleración máxima en el terreno $Z = 0.40$
- $\eta = 1.8$
- Coeficientes de amplificación del suelo: $F_a = 1.20$, $F_d = 1.19$, $F_s = 1.28$

En la Figura 54 se muestra el espectro de respuesta elástica para un nivel de amenaza sísmica Raro-Diseño.

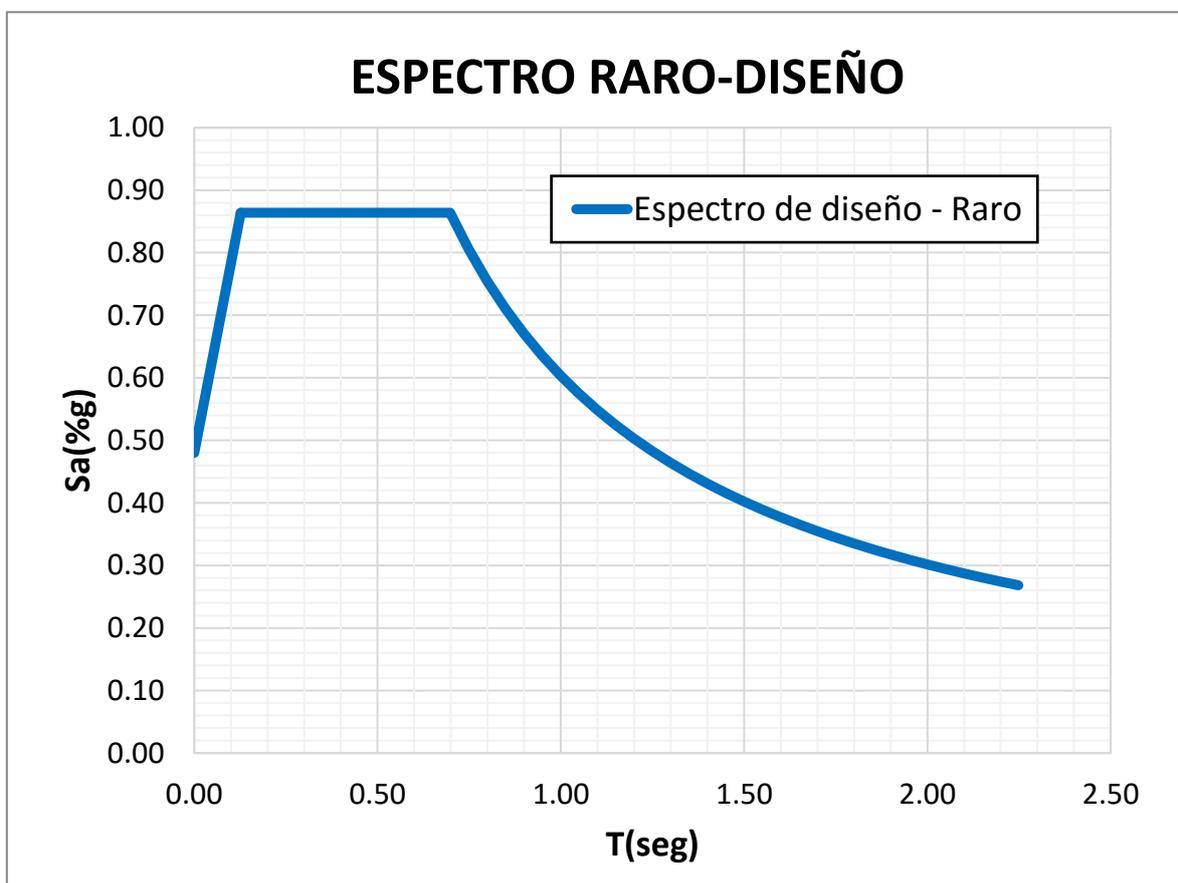


Figura 54. Espectro de respuesta para un nivel de amenaza sísmica Raro-Diseño.

APÉNDICE B

1. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO LLALLAY_VALP PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.

A continuación, se escalará el registro sísmico Llallay_Valp de Chile para los diferentes niveles sísmicos.

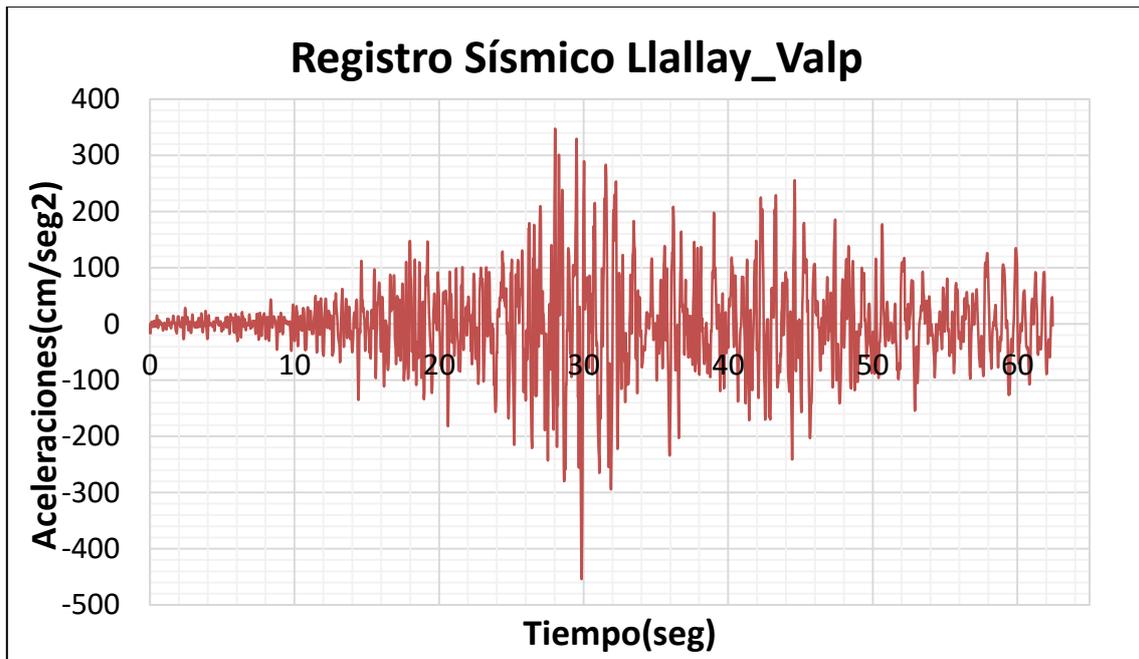


Figura 55. Registro sísmico Llallay_Valp.

1.1 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.

En las Figura 56 se muestra el espectro elástico de Llallay_Valp y el espectro elástico del sismo Frecuente (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.167 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.

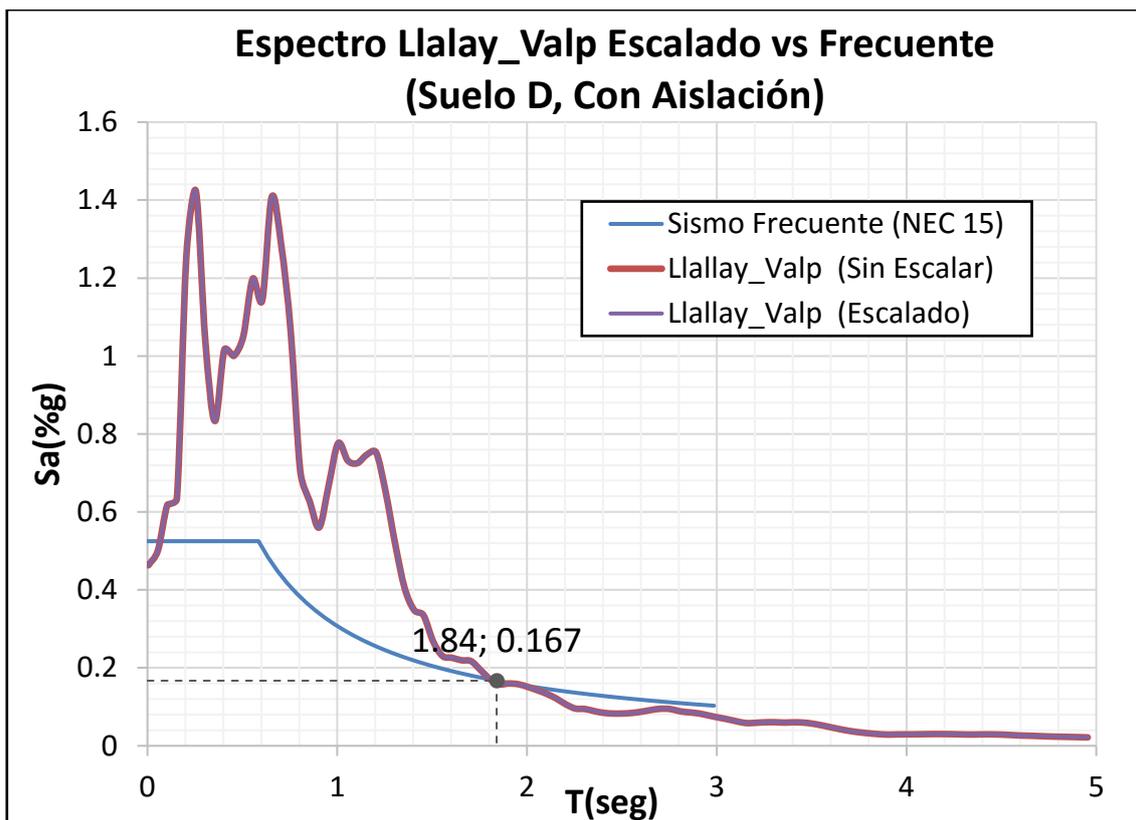


Figura 56. Espectro Llallay_Valp escalado a Frecuente para el edificio con aislación.

1.2 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.

En las Figura 57 se muestra el espectro elástico de Llallay_Valp y el espectro elástico del sismo Ocasional (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.237 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.46.

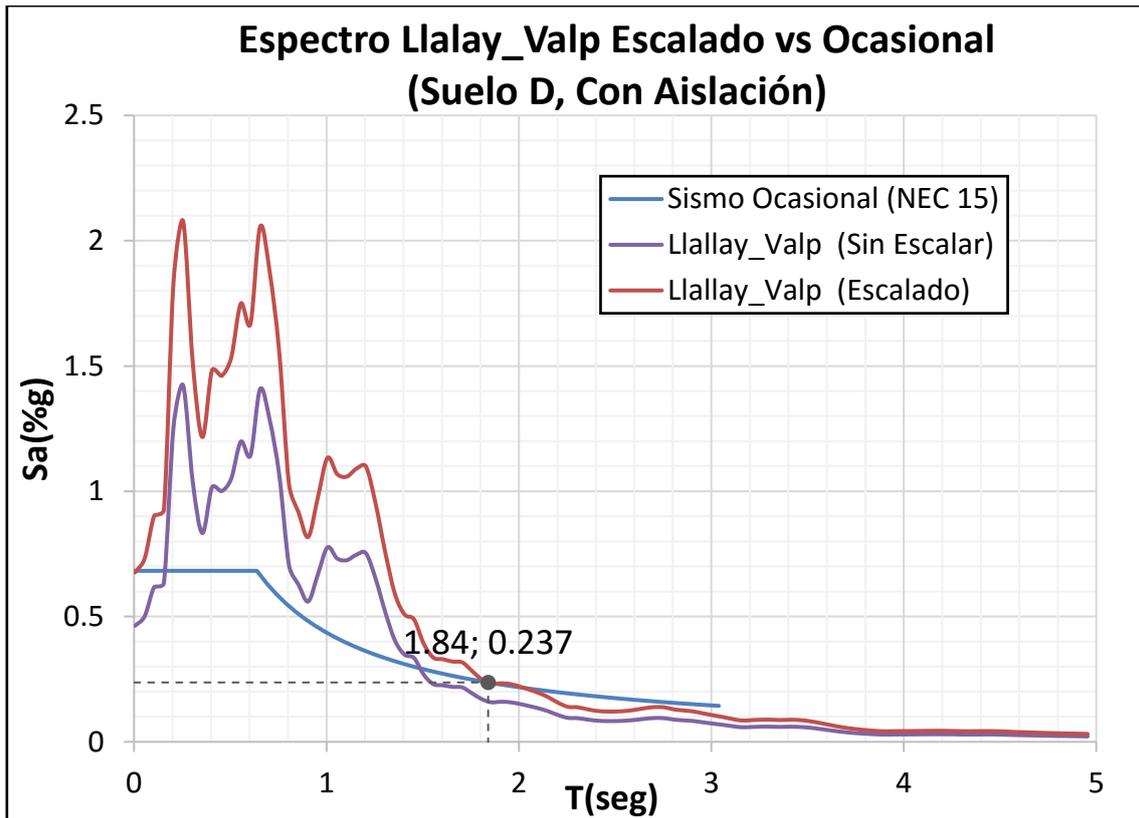


Figura 57. Espectro Llalay_Valp escalado a Ocasional para el edificio con aislación.

1.3 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.

En las Figura 58 se muestra el espectro elástico de Llalay_Valp y el espectro elástico del sismo Raro-Diseño (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.328 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 2.05.

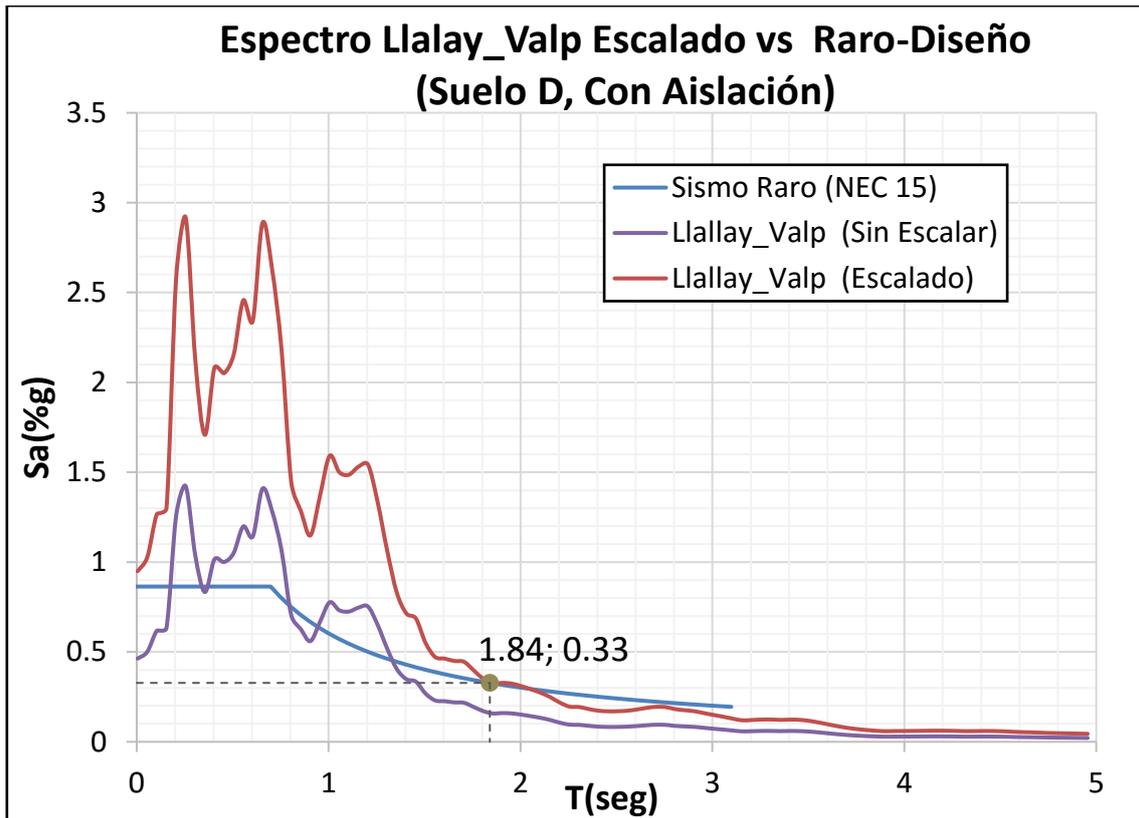


Figura 58. Espectro Llalay_Valp escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.

1.4 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA MUY RARO.

En las Figura 59 se muestra el espectro elástico de Llalay_Valp y el espectro elástico del sismo Muy Raro (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.50 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 3.05.

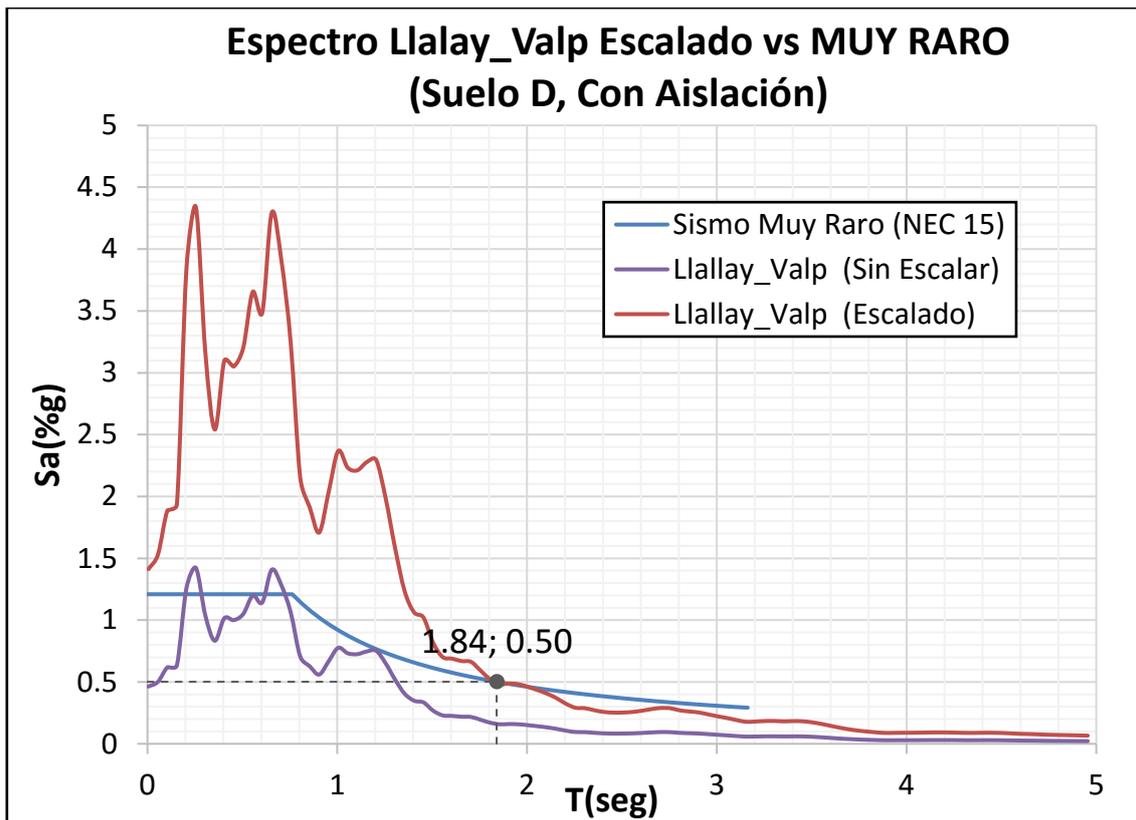


Figura 59. Espectro Llalay_Valp escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.

2. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO VALPARAISO-VALP PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.

A continuación, se escalará el registro sísmico Valparaiso-Valp de Chile para los diferentes niveles sísmicos.

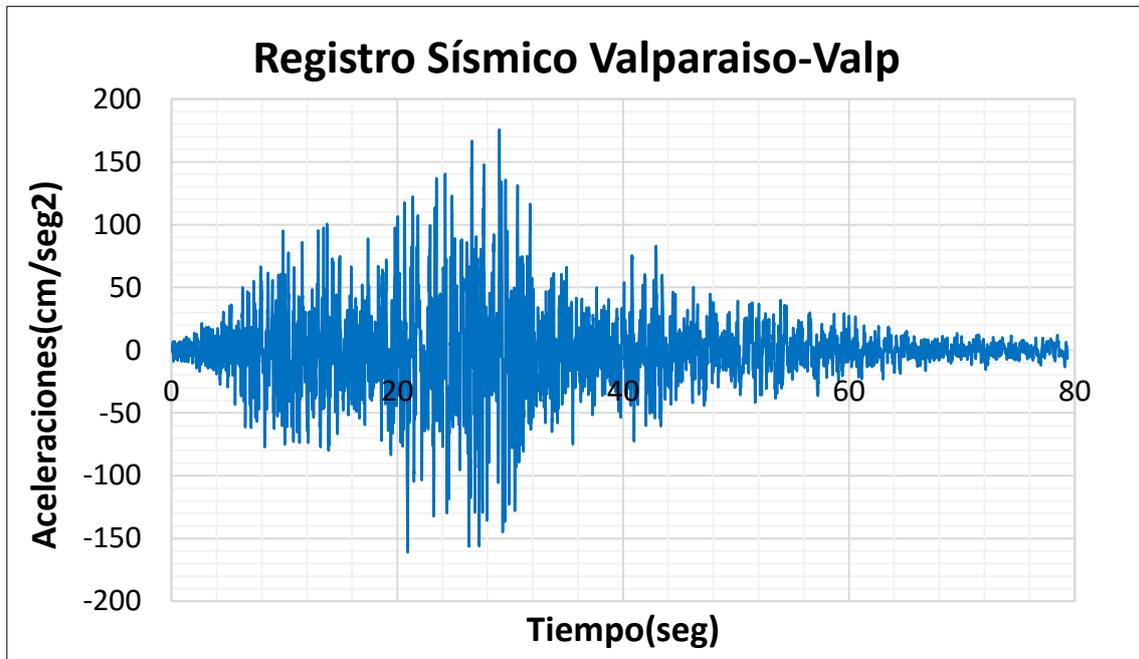


Figura 60. Registro sísmico Valparaiso-Valp.

2.1 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.

En las Figura 61 se muestra el espectro elástico de Valparaiso-Valp y el espectro elástico del sismo Frecuente (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura original (sin aislación), $T=0.73$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.42 g y para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.167 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.55.

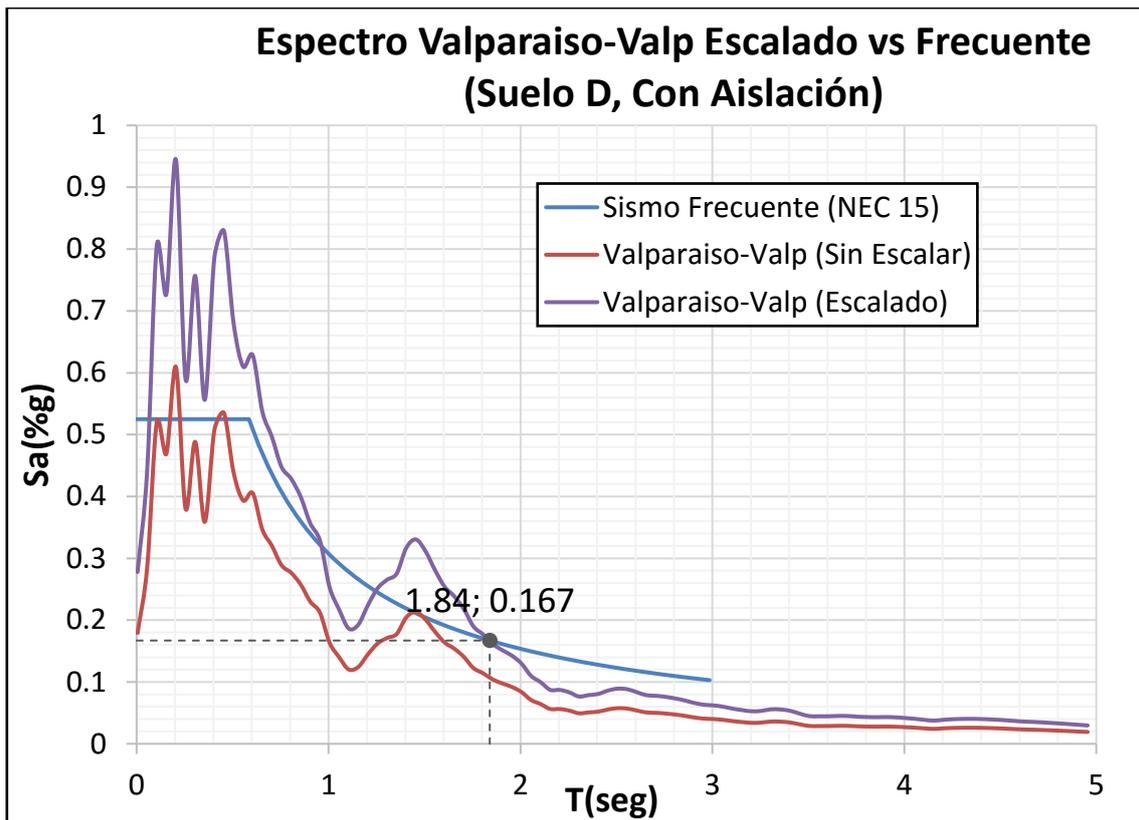


Figura 61. Espectro Valparaiso-Valp escalado a Frecuente para el edificio con aislación.

2.2 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.

En las Figura 62 se muestra el espectro elástico de Valparaiso-Valp y el espectro elástico del sismo Ocasional (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.237 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 2.2.

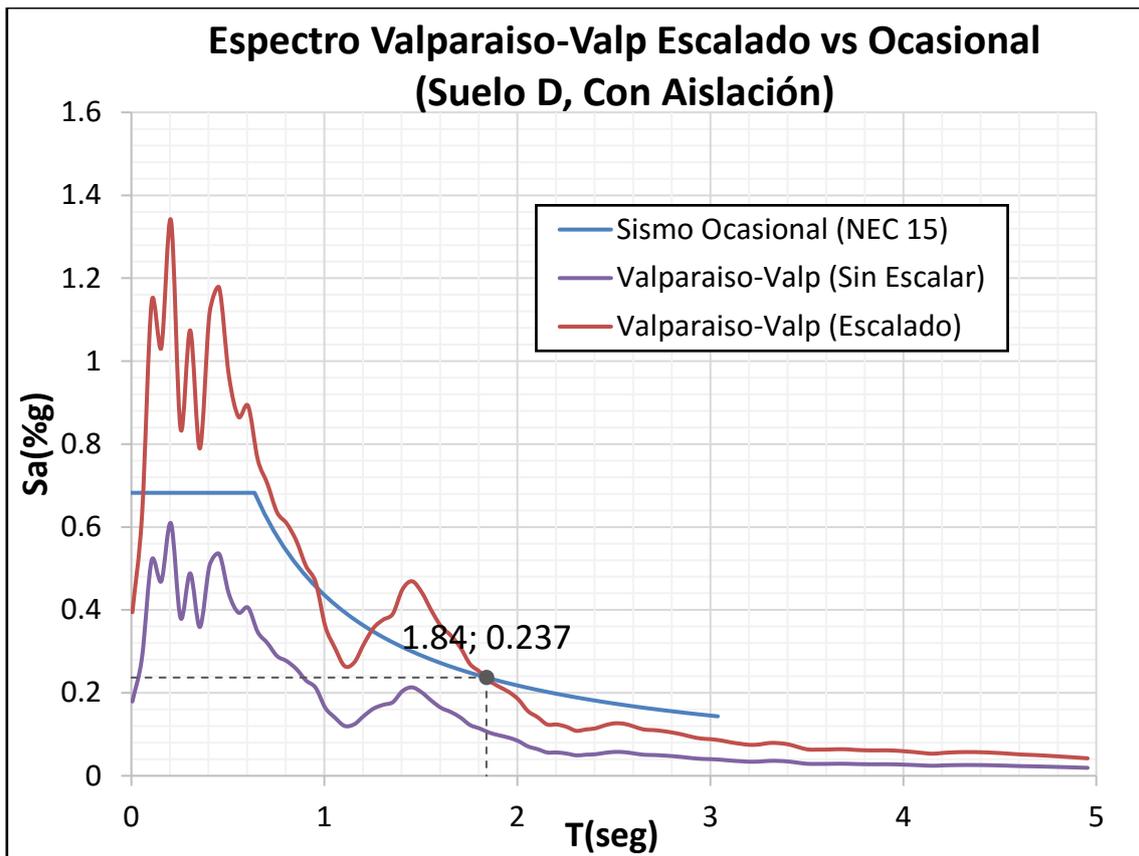


Figura 62. Espectro Valparaiso-Valp escalado a Ocasional para el edificio con aislación.

2.3 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.

En las Figura 63 se muestra el espectro elástico de Valparaiso-Valp y el espectro elástico del sismo Raro -Diseño (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.328 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 3.05.

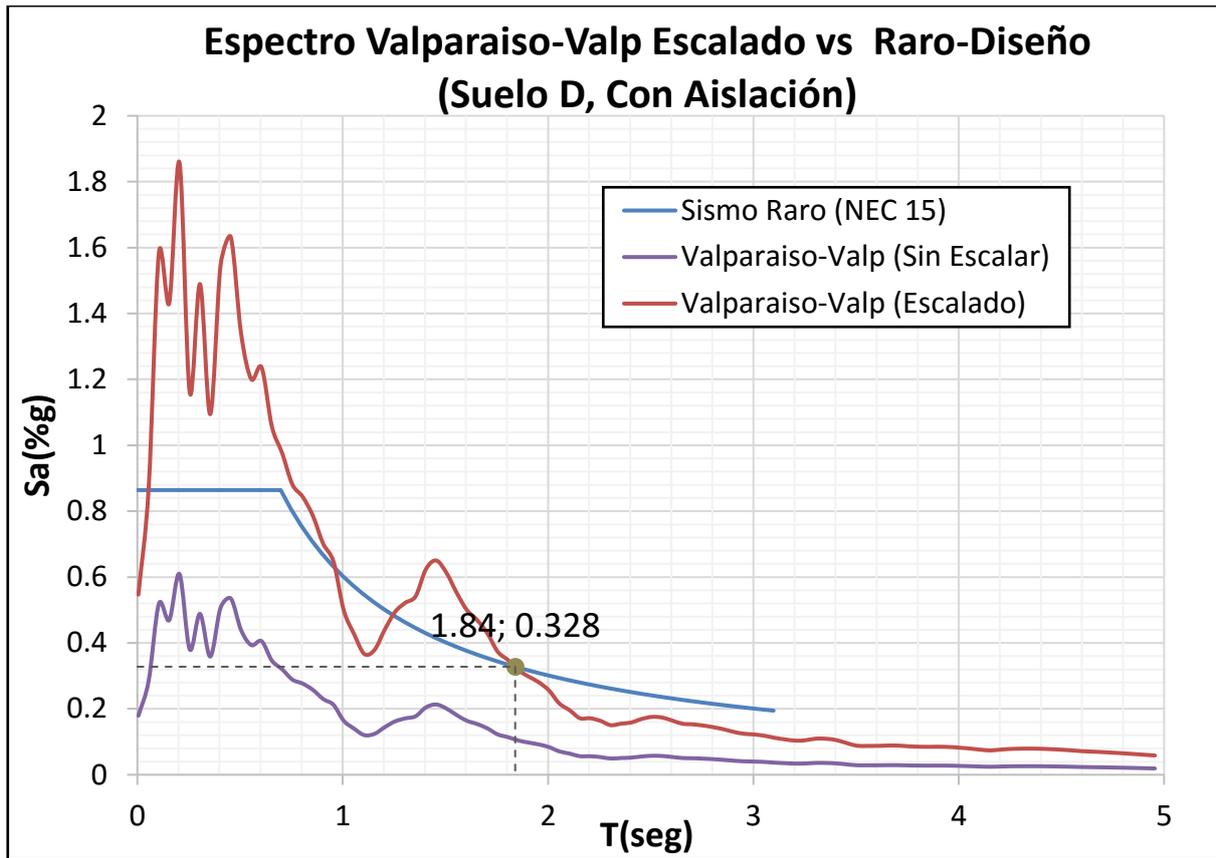


Figura 63. Espectro Valparaiso-Valp escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.

3. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO VINA200OS PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.

A continuación, se escalará el registro sísmico Vina200os de Chile para los diferentes niveles sísmicos.

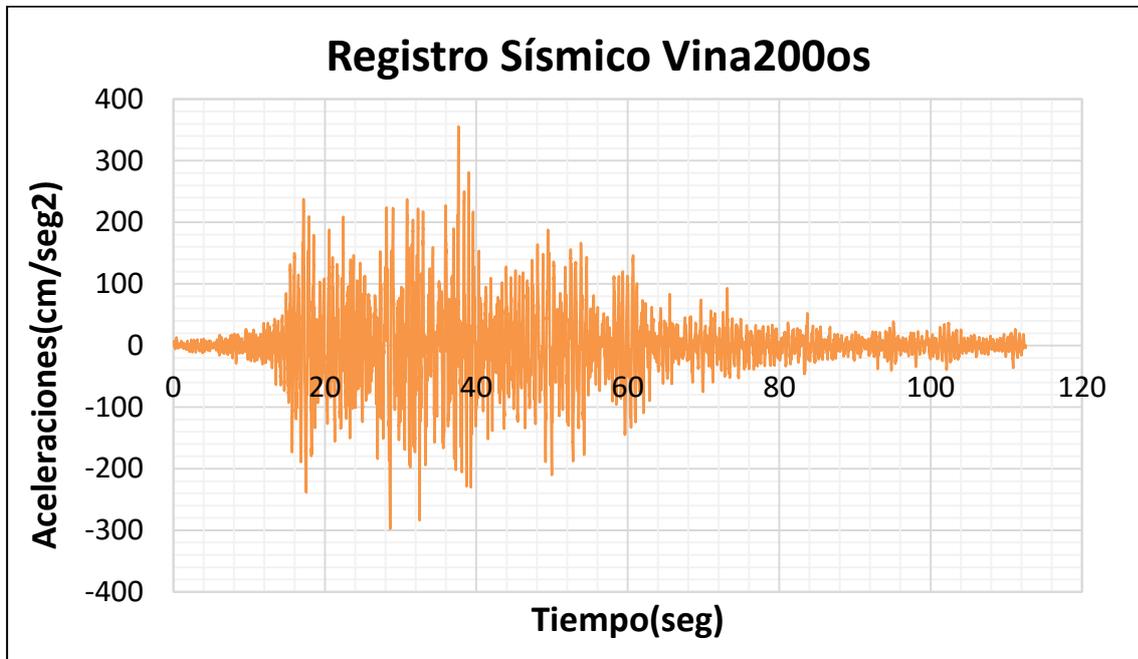


Figura 64. Registro sísmico Vina200os.

3.1 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.

En las Figura 65 se muestra el espectro elástico de Vina200os y el espectro elástico del sismo Frecuente (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.167 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.

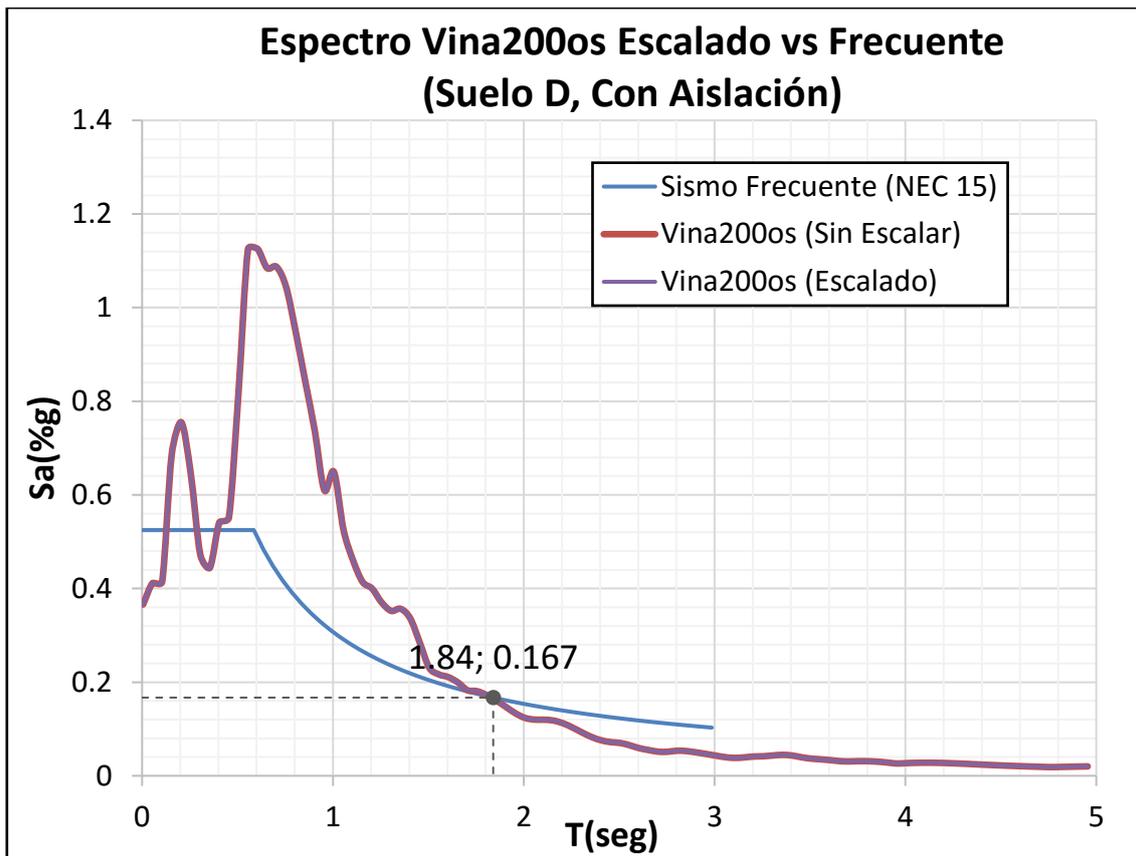


Figura 65. Espectro Vina200os escalado a Frecuente para el edificio con aislación.

3.2 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.

En las Figura 66 se muestra el espectro elástico de Vina200os y el espectro elástico del sismo Ocasional (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.237 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.43.

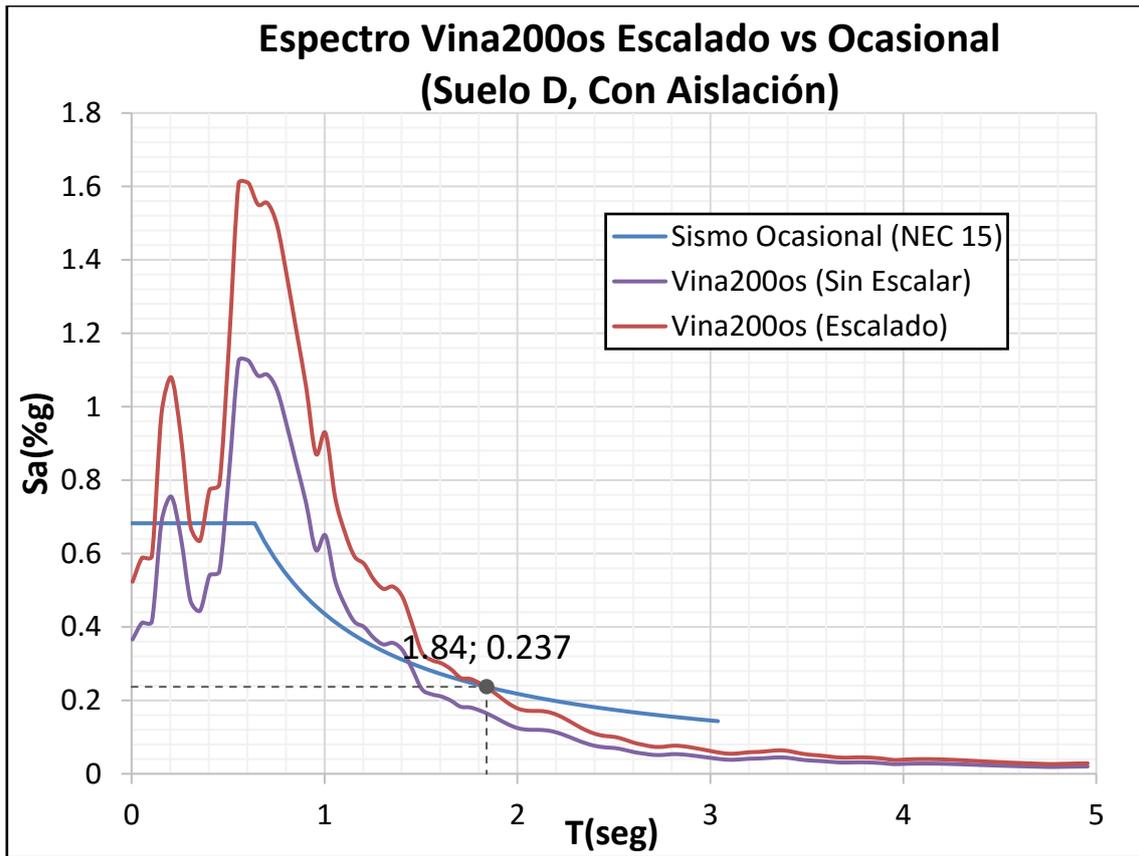


Figura 66. Espectro Vina200os escalado a Ocasional para el edificio con aislación.

3.3 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.

En las Figura 67 se muestra el espectro elástico de Vina200os y el espectro elástico del sismo Raro -Diseño (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.328 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 2.

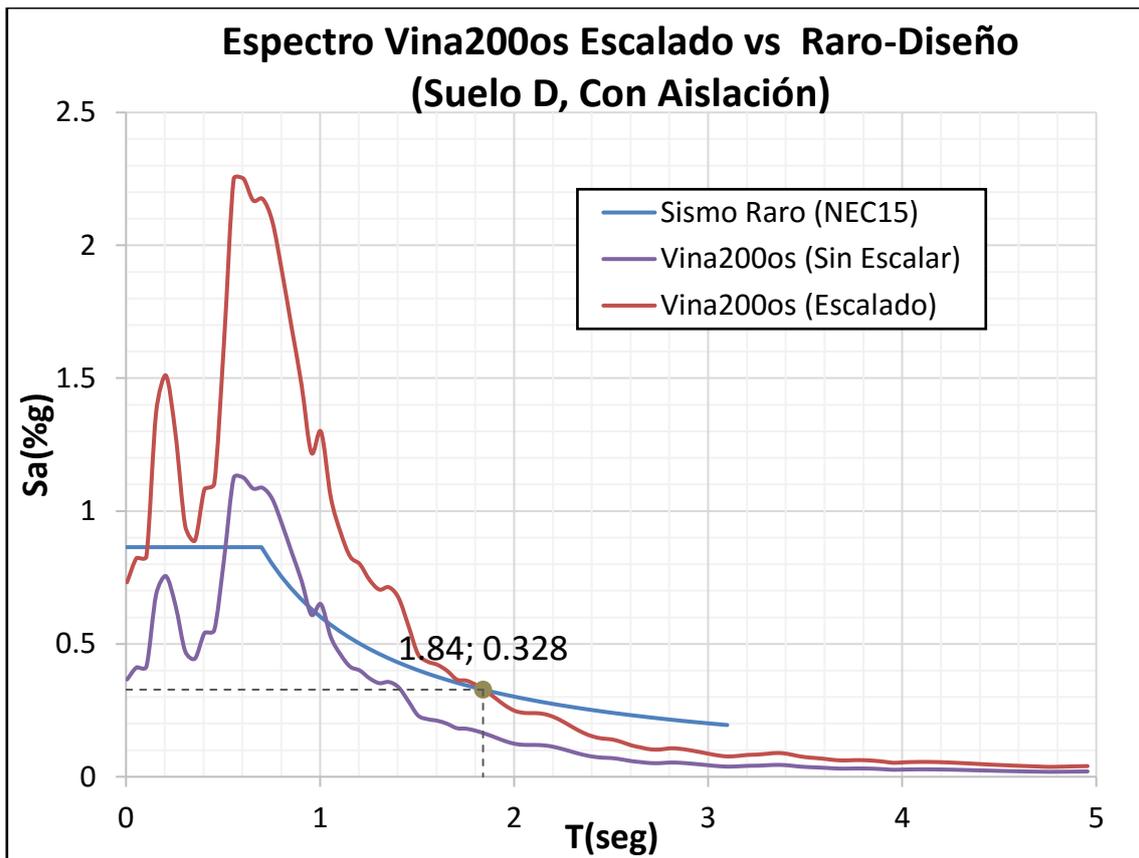


Figura 67. Espectro Vina200os escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.

3.4 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA MUY RARO.

En las Figura 68 se muestra el espectro elástico de Vina200os y el espectro elástico del sismo Muy Raro (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.50 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 3.05.

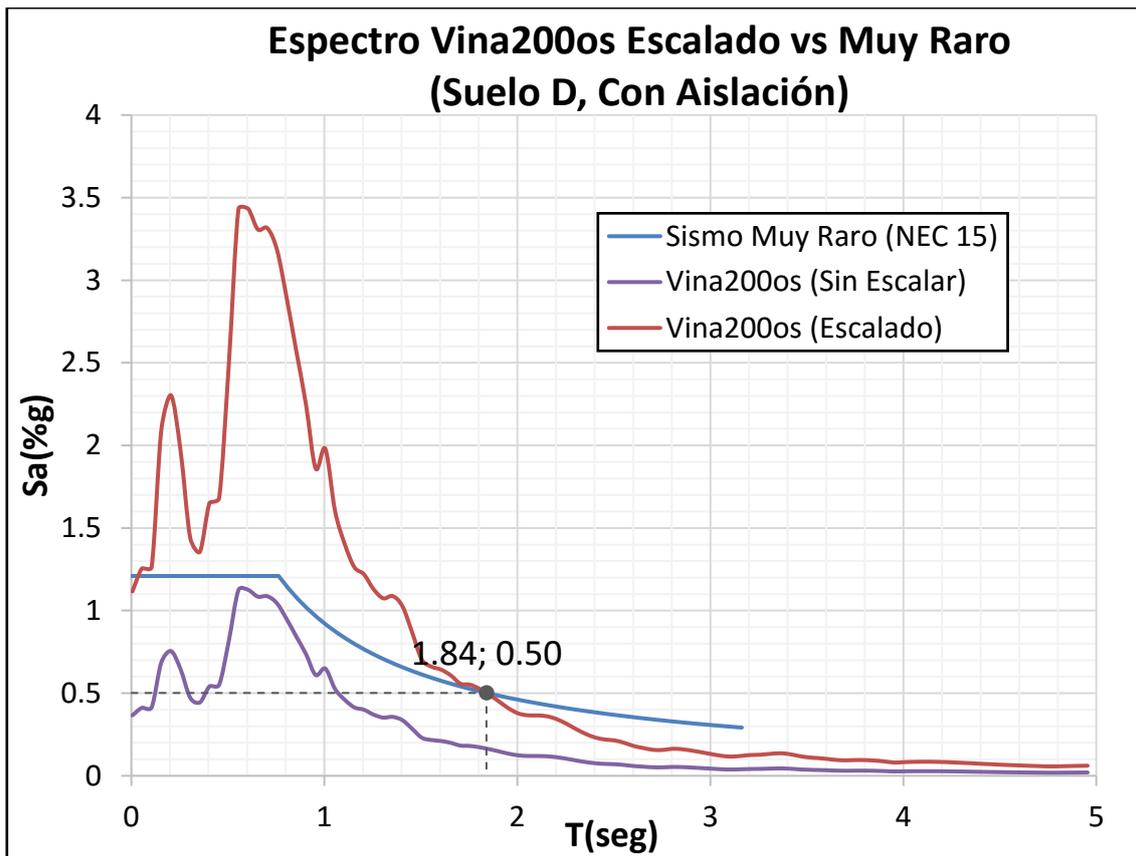


Figura 68. Espectro Vina200os escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.

4. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO ICA2-EO PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.

A continuación, se escalará el registro sísmico Ica2-EO de Perú para los diferentes niveles sísmicos.

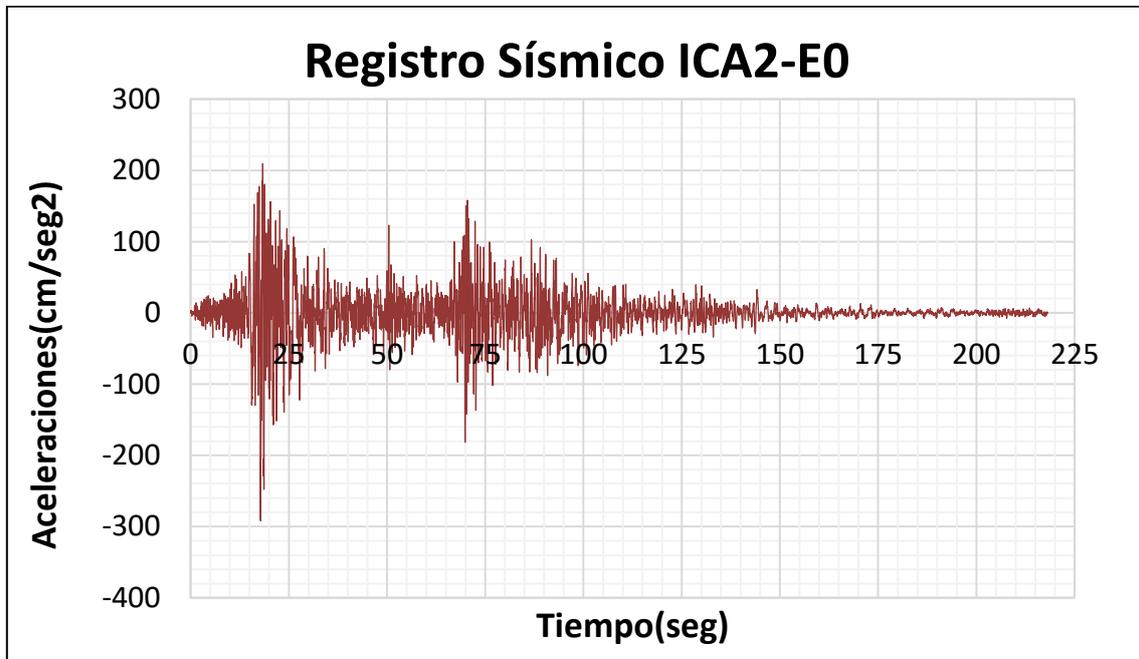


Figura 69. Registro sísmico Ica2-EO.

4.1 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.

En las Figura 70 se muestra el espectro elástico de Ica2-EO y el espectro elástico del sismo Frecuente (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.167 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 0.49.

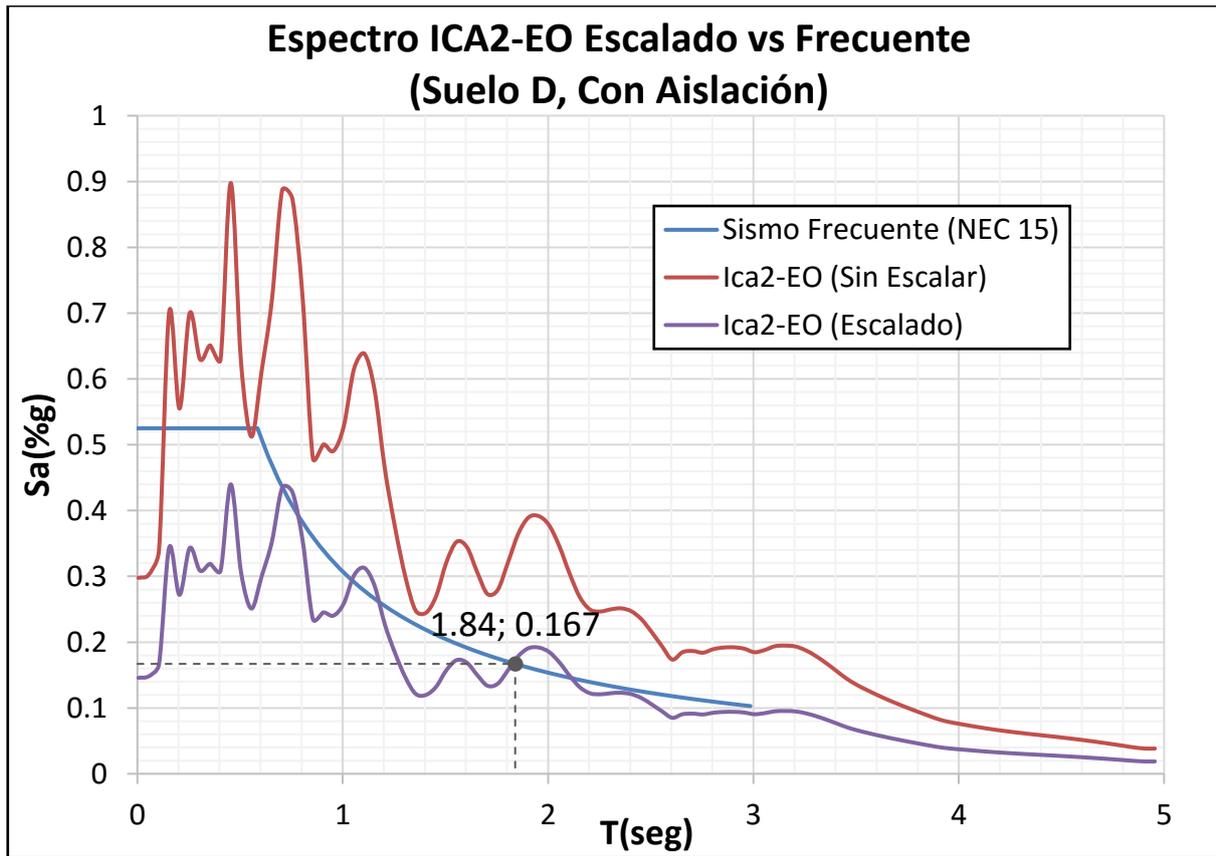


Figura 70. Espectro Ica2-EO escalado a Frecuente para el edificio con aislación.

4.2 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.

En las Figura 71 se muestra el espectro elástico de Ica2-EO y el espectro elástico del sismo Ocasional (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.237 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 0.70.

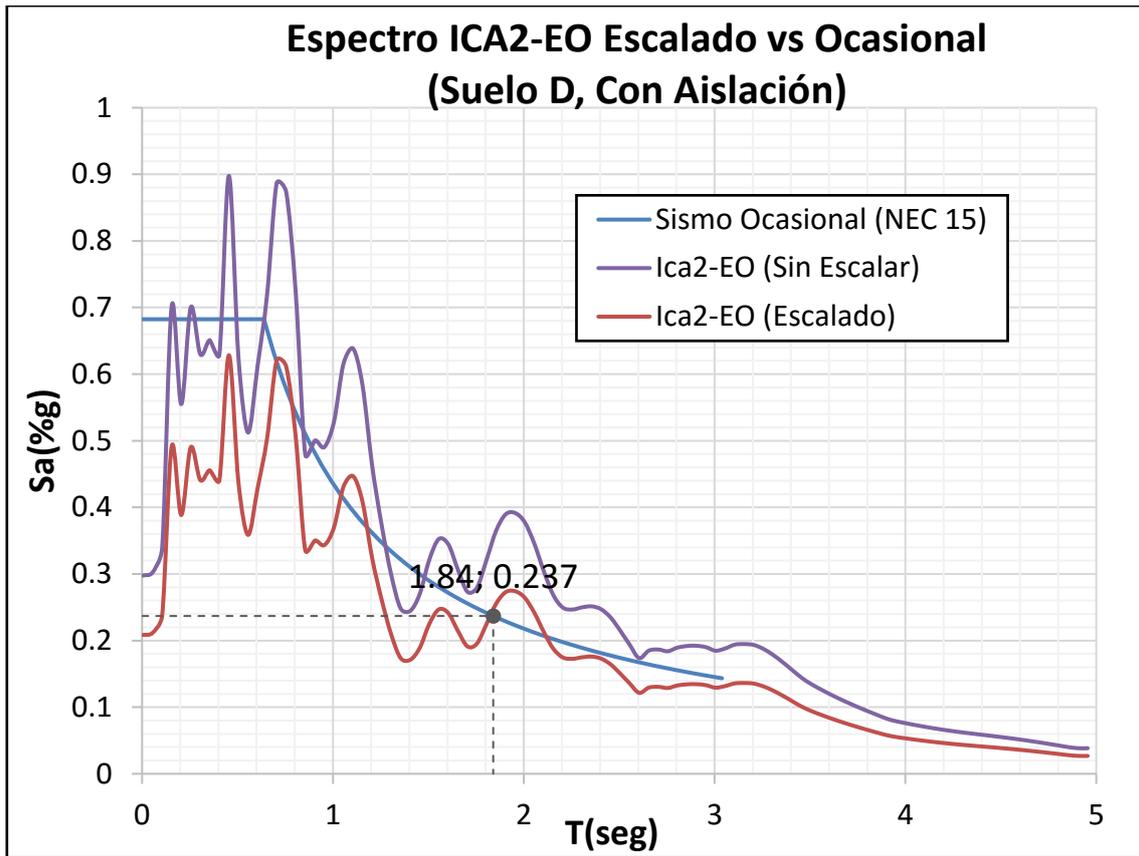


Figura 71. Espectro Ica2-EO escalado a Ocasional para el edificio con aislación.

4.3 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.

En las Figura 72 se muestra el espectro elástico de Ica2-EO y el espectro elástico del sismo Raro -Diseño (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.328 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 0.96.

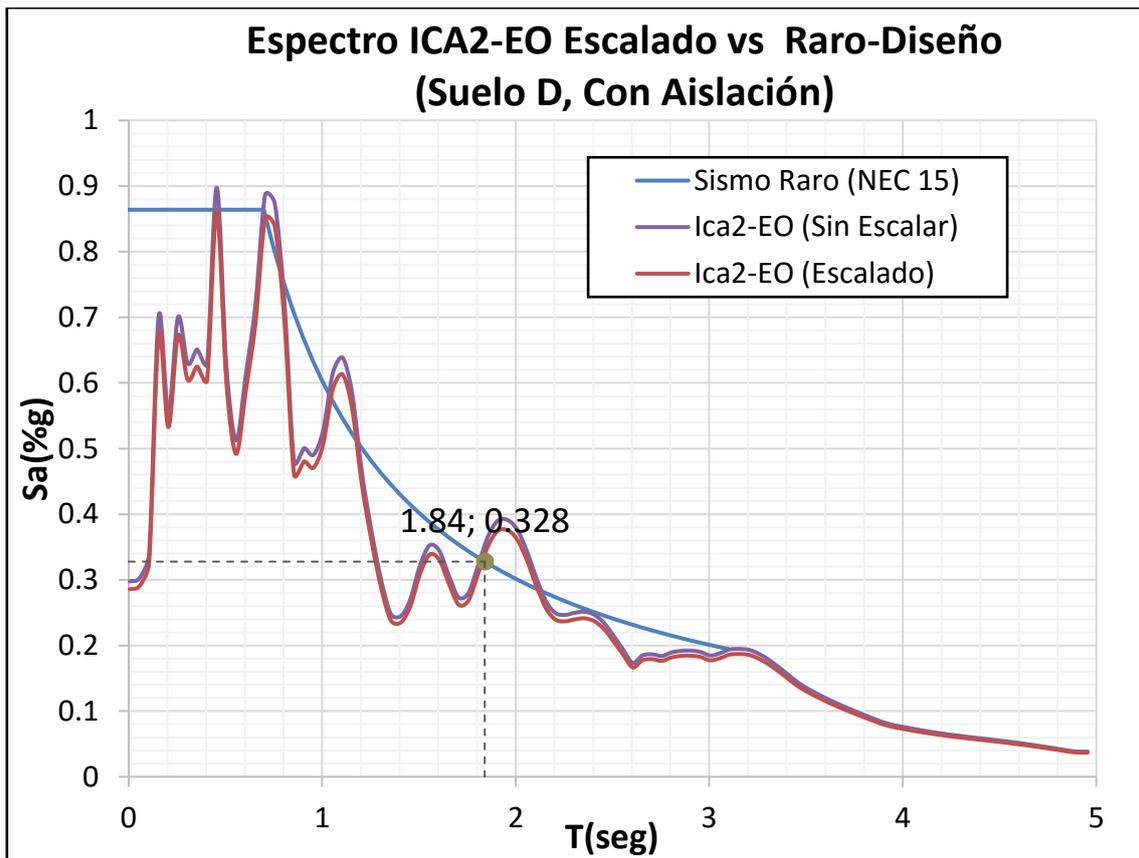


Figura 72. Espectro Ica2-EO escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.

4.4 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA MUY RARO.

En las Figura 73 se muestra el espectro elástico de Ica2-EO y el espectro elástico del sismo Muy Raro (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.50 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.45.

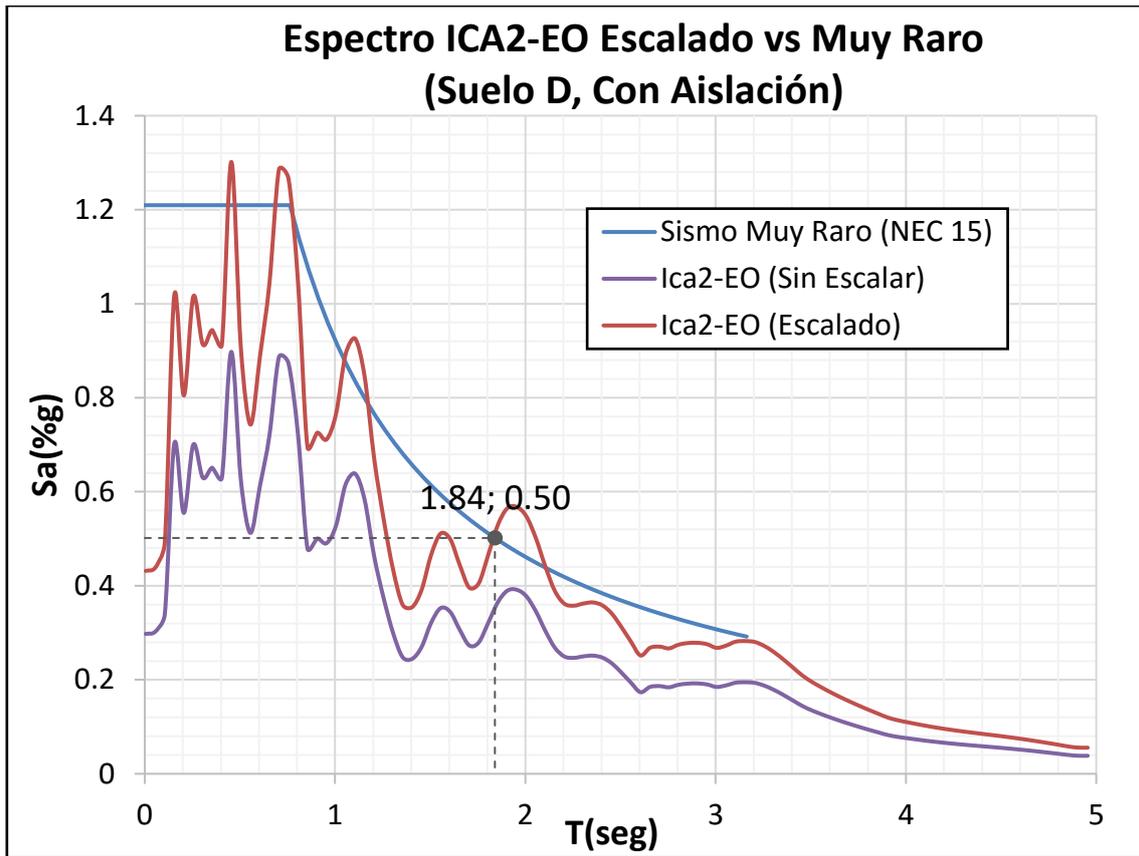


Figura 73. Espectro Ica2-EO escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.

5. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO LLOLLEO1 PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.

A continuación, se escalará el registro sísmico Lolloe1 de Chile para los diferentes niveles sísmicos.

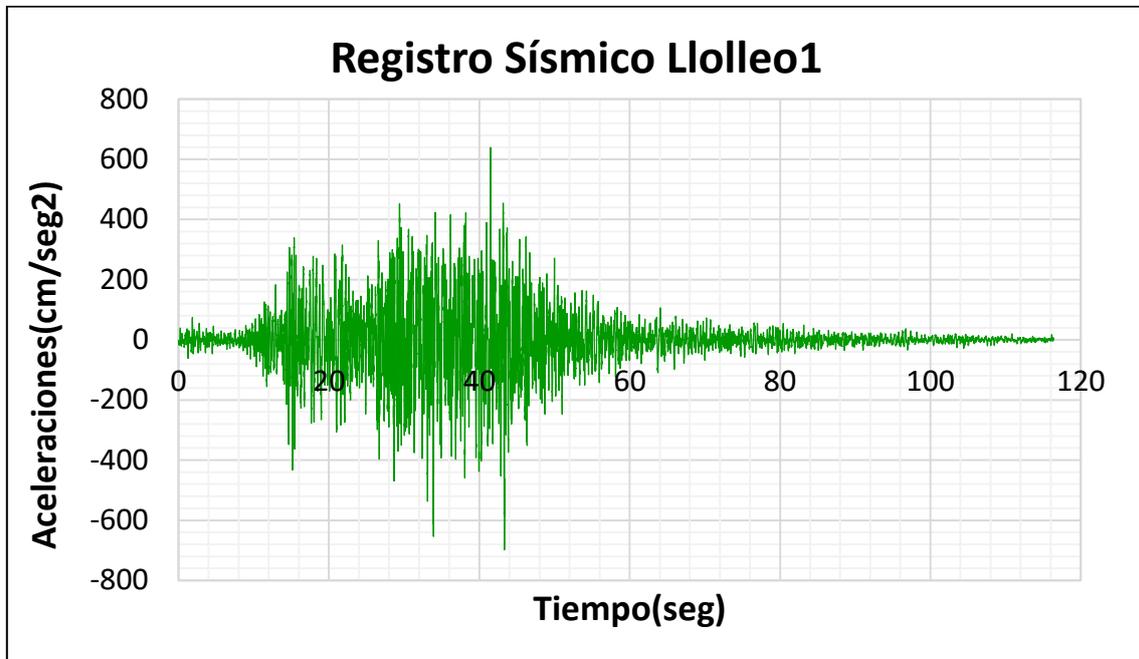


Figura 74. Registro sísmico Lolloe1.

5.1 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.

En las Figura 75 se muestra el espectro elástico de Lolloe1 y el espectro elástico del sismo Frecuente (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.167 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 0.66.

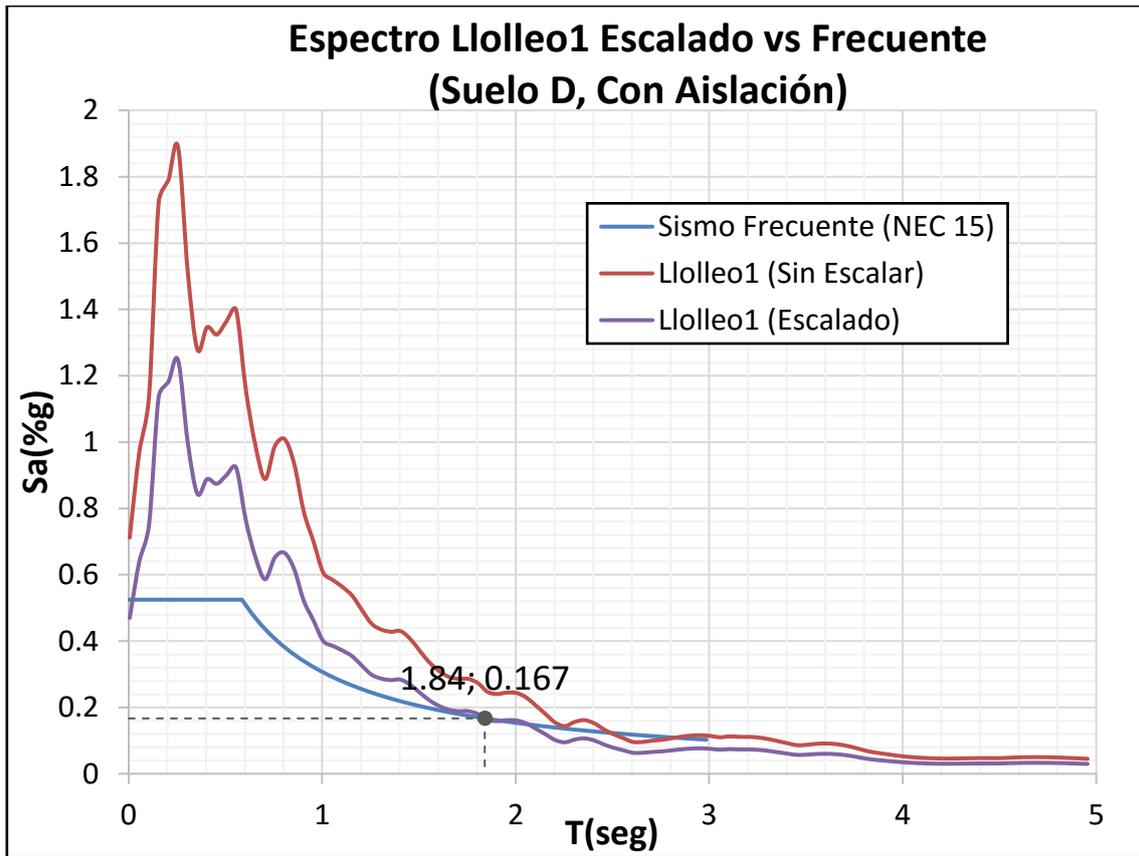


Figura 75. Espectro Lolloe1 escalado a Frecuente para el edificio con aislación.

5.2 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.

En las Figura 76 se muestra el espectro elástico de Lolloe1 y el espectro elástico del sismo Ocasional (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.237 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.27.

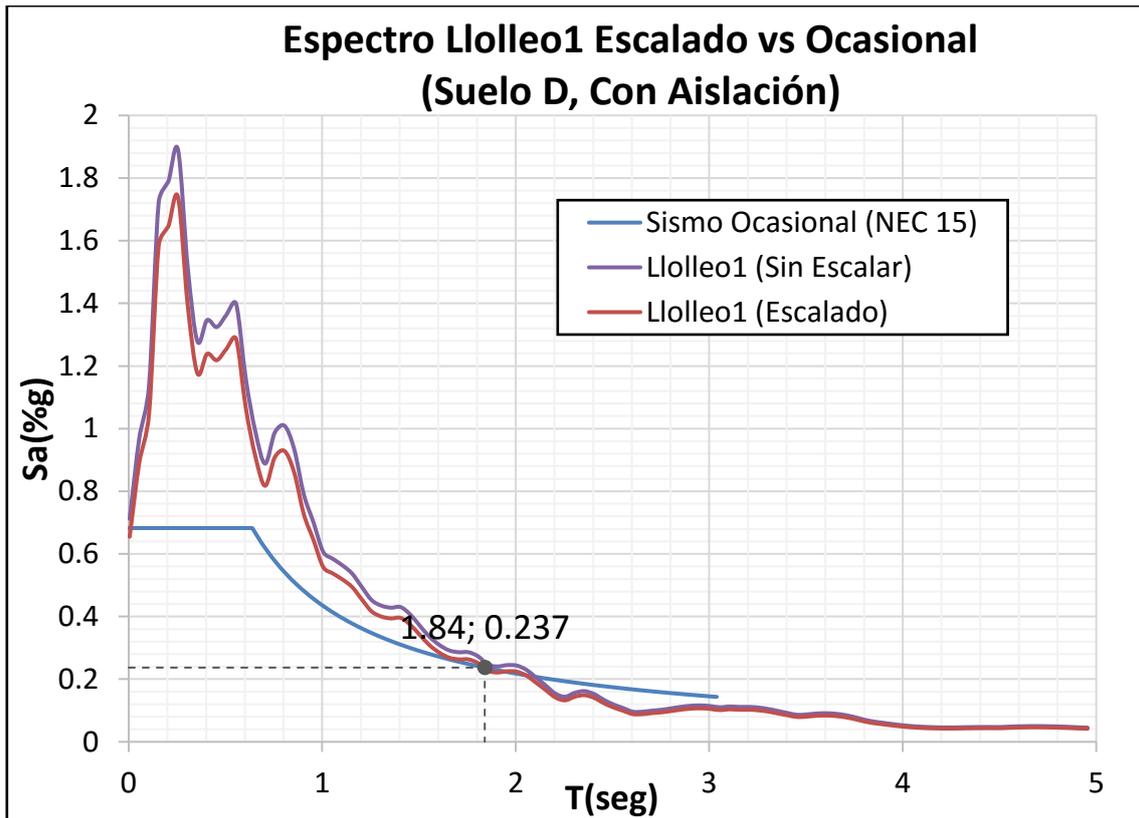


Figura 76. Espectro Lolloe1 escalado a Ocasional para el edificio con aislación.

5.3 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.

En las Figura 77 se muestra el espectro elástico de Lolloe1 y el espectro elástico del sismo Raro -Diseño (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.328 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.27.

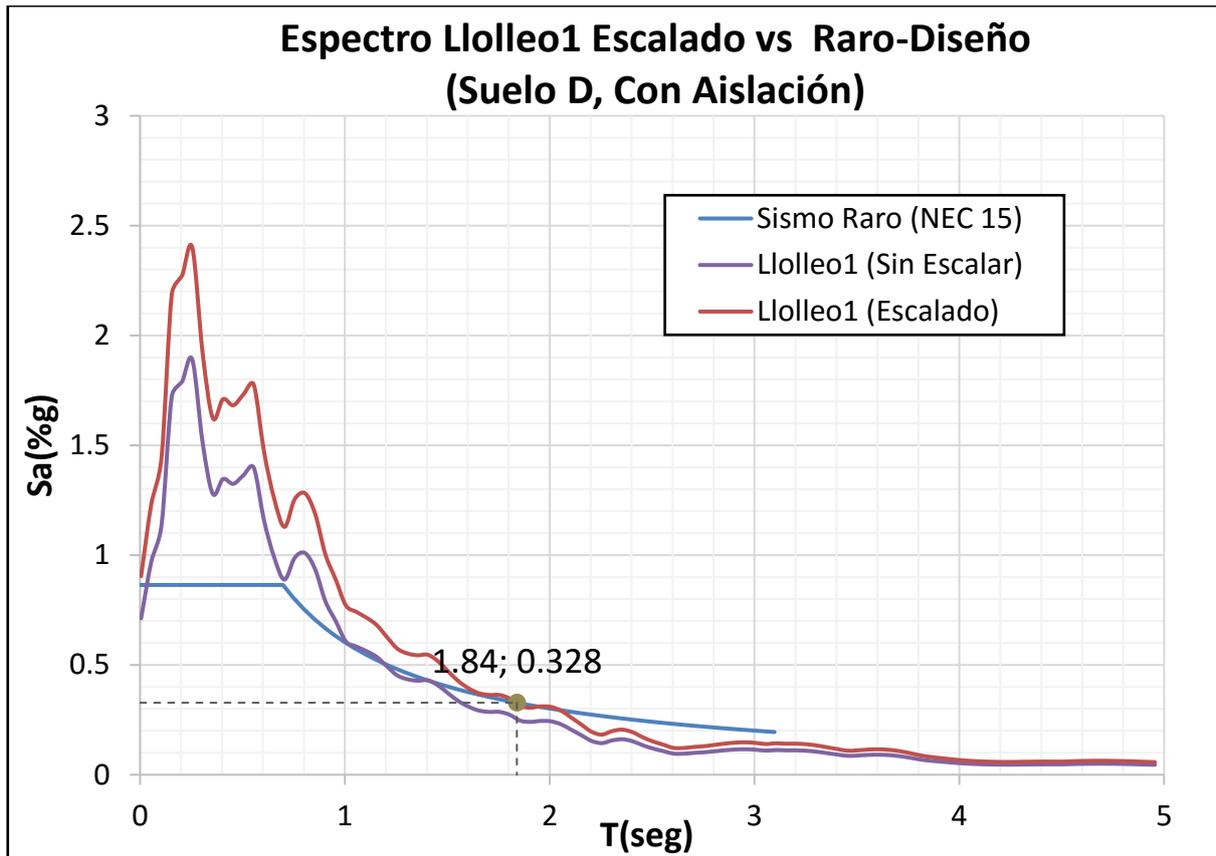


Figura 77. Espectro Lolloe1 escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.

5.4 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA MUY RARO.

En las Figura 78 se muestra el espectro elástico de Lolloe1 y el espectro elástico del sismo Muy Raro (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.50 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.95.

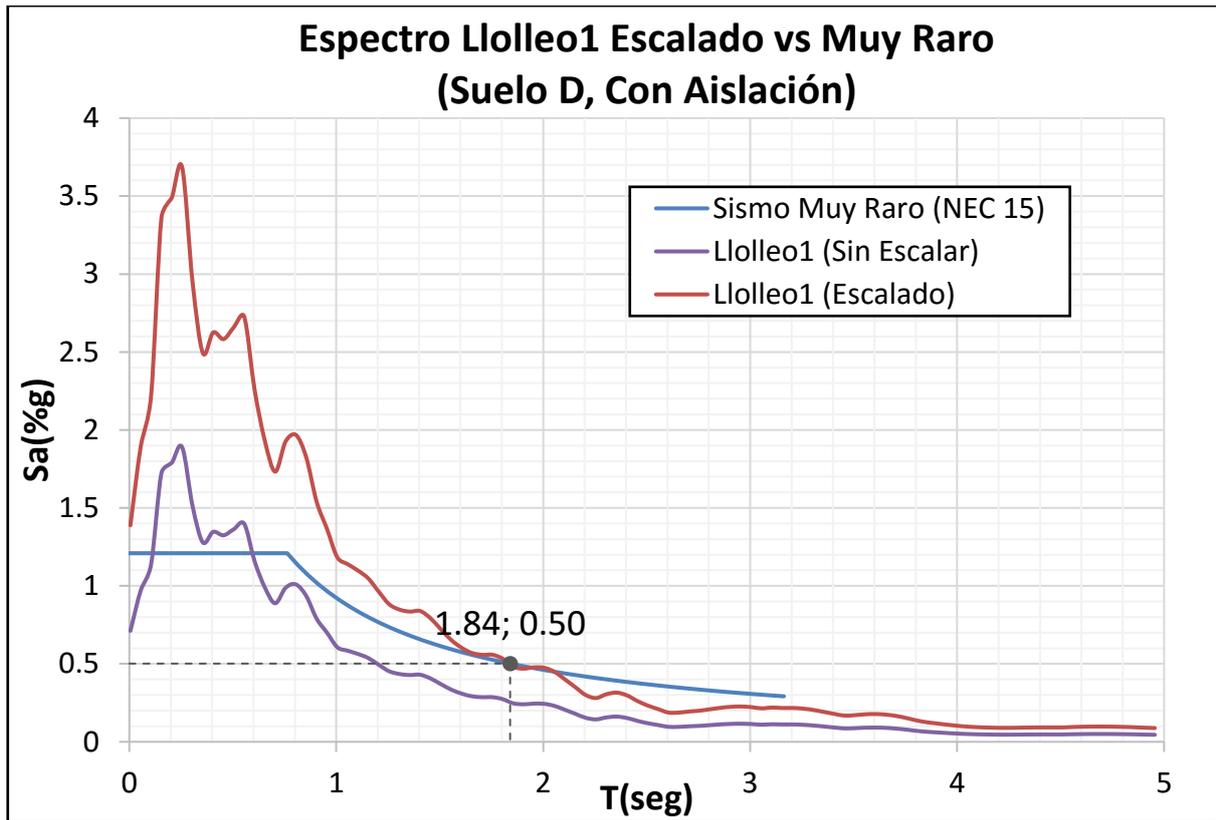


Figura 78. Espectro Lolloe1 escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.

6. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO MELIPILLA-EO-OS PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.

A continuación, se escalará el registro sísmico Melipilla-ao-os de Chile para los diferentes niveles sísmicos.

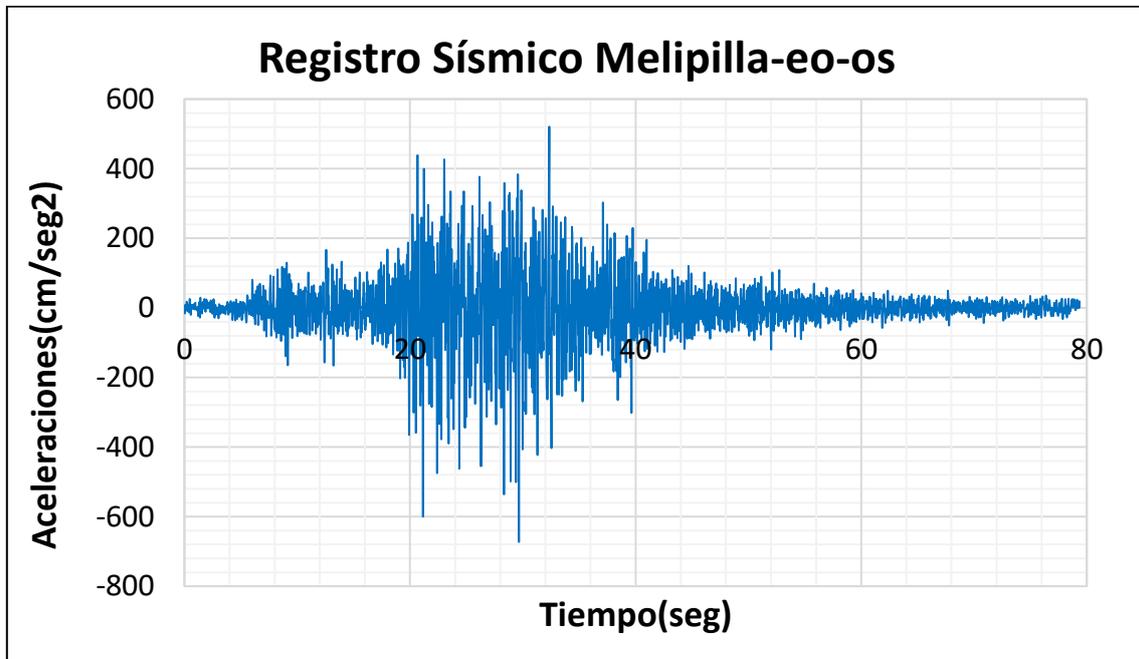


Figura 79. Registro sísmico Melipilla-ao-os.

6.1 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.

En las Figura 80 se muestra el espectro elástico de Melipilla-ao-os y el espectro elástico del sismo Frecuente (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.167 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 1.60.

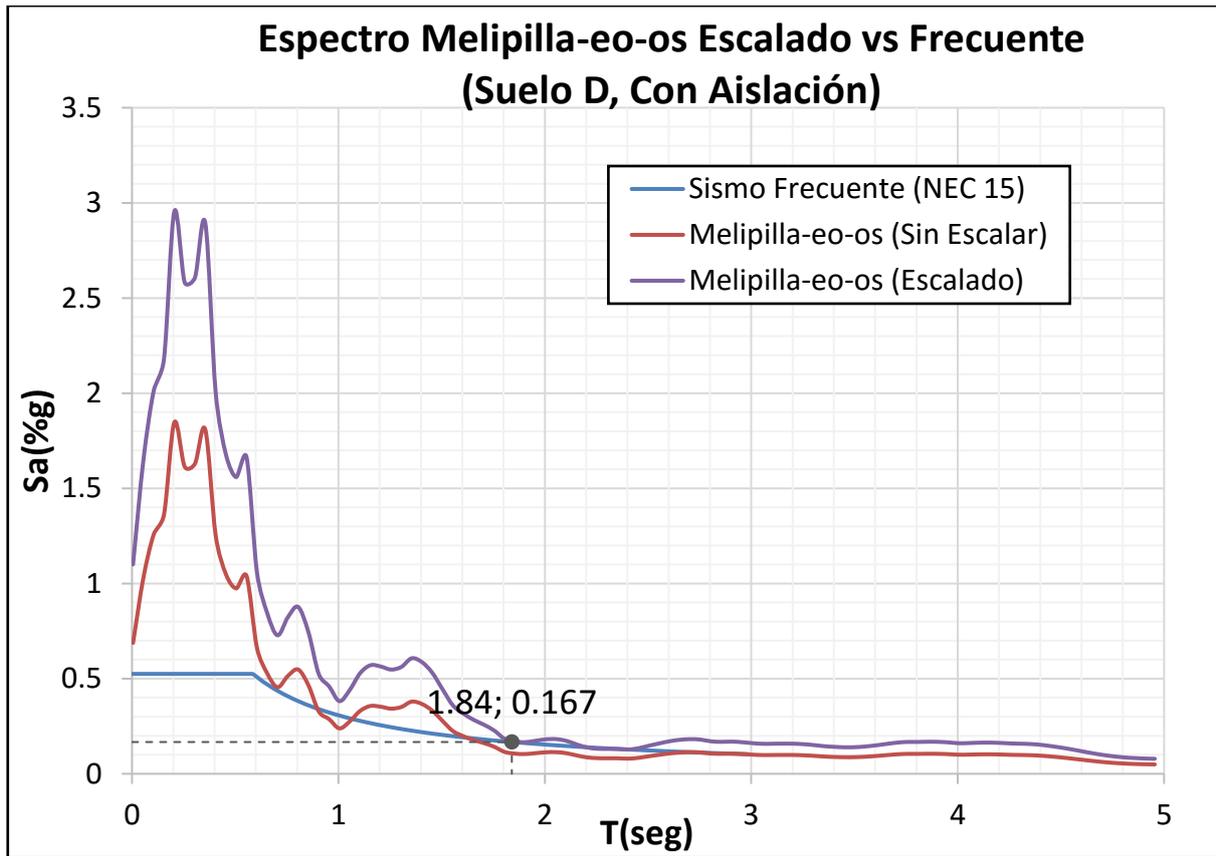


Figura 80. Espectro Melipilla-eo-os escalado a Frecuente para el edificio con aislación.

6.2 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.

En las Figura 81 se muestra el espectro elástico de Melipilla-eo-os y el espectro elástico del sismo Ocasional (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.237 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 2.18.

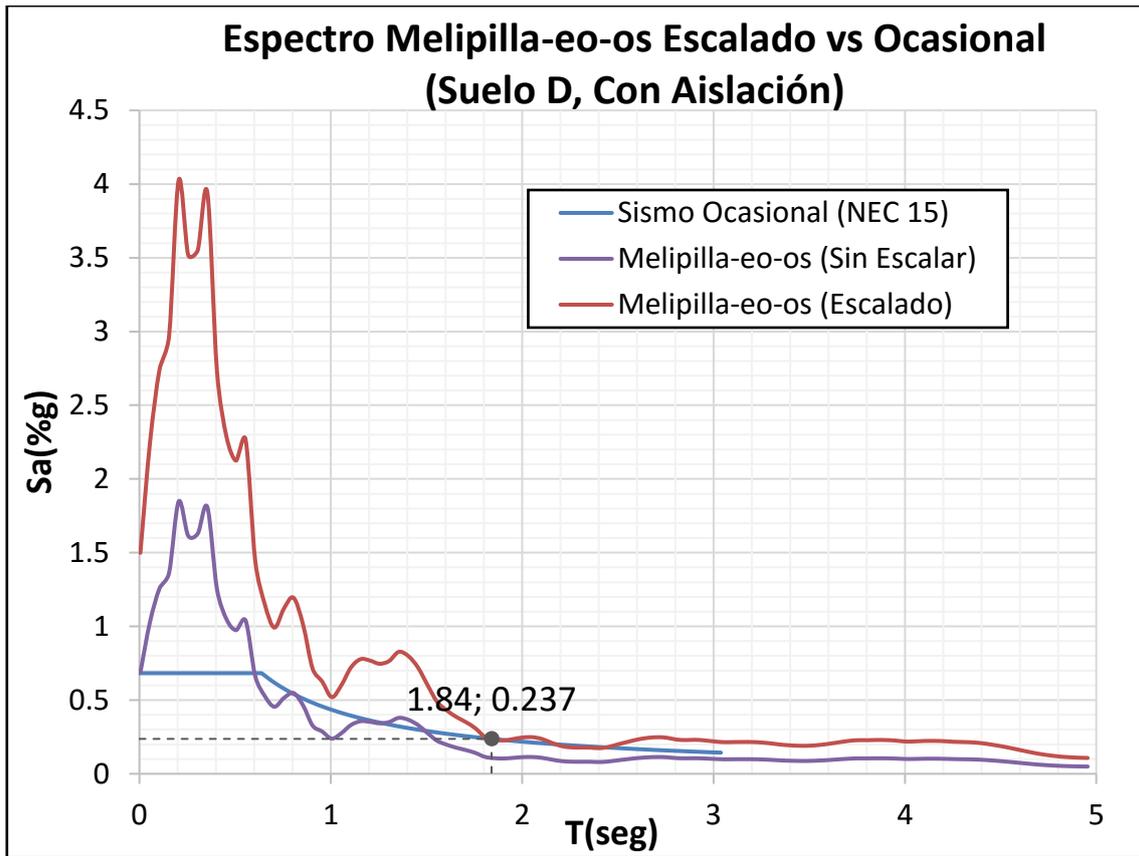


Figura 81. Espectro Melipilla-eo-os escalado a Ocasional para el edificio con aislación.

6.3 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.

En las Figura 82 se muestra el espectro elástico de Melipilla-eo-os y el espectro elástico del sismo Raro -Diseño (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura original rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.328 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 3.1.

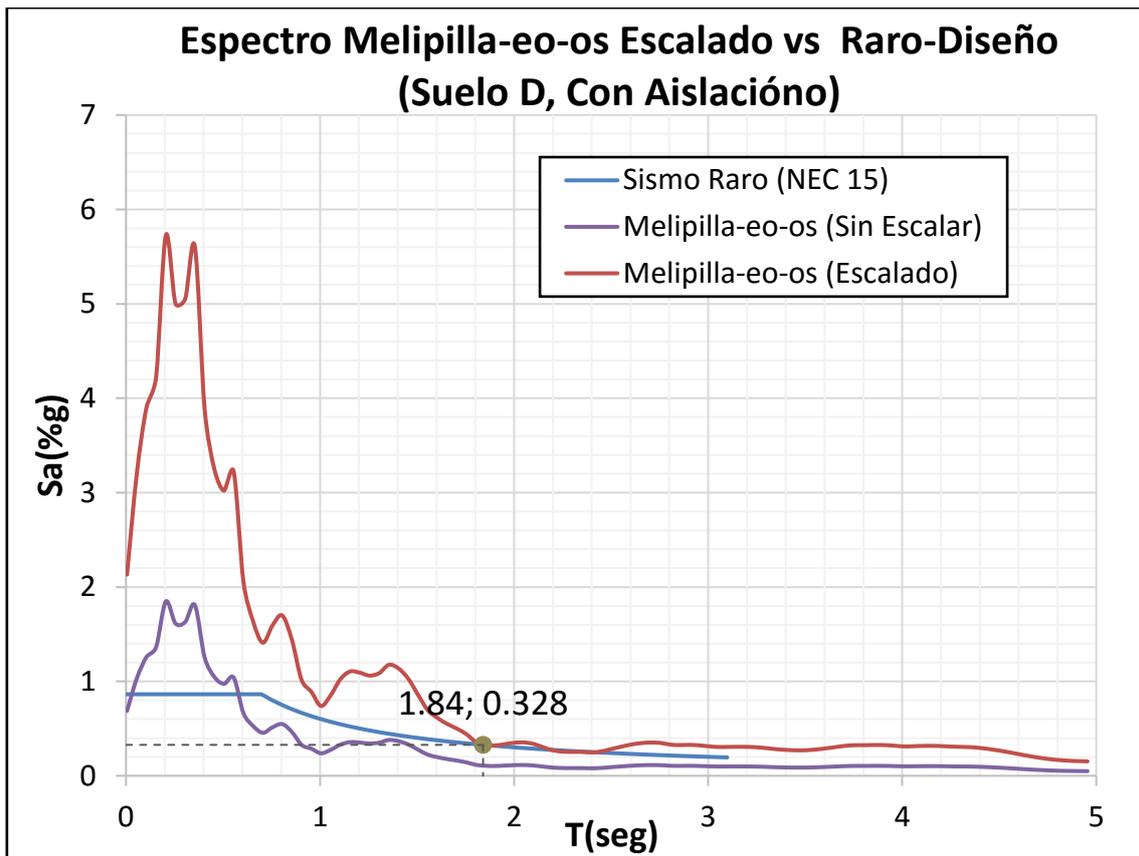


Figura 82. Espectro Melipilla-eo-os escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.

6.4 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA MUY RARO.

En las Figura 83 se muestra el espectro elástico de Melipilla-eo-os y el espectro elástico del sismo Muy Raro (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.50 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 4.70.

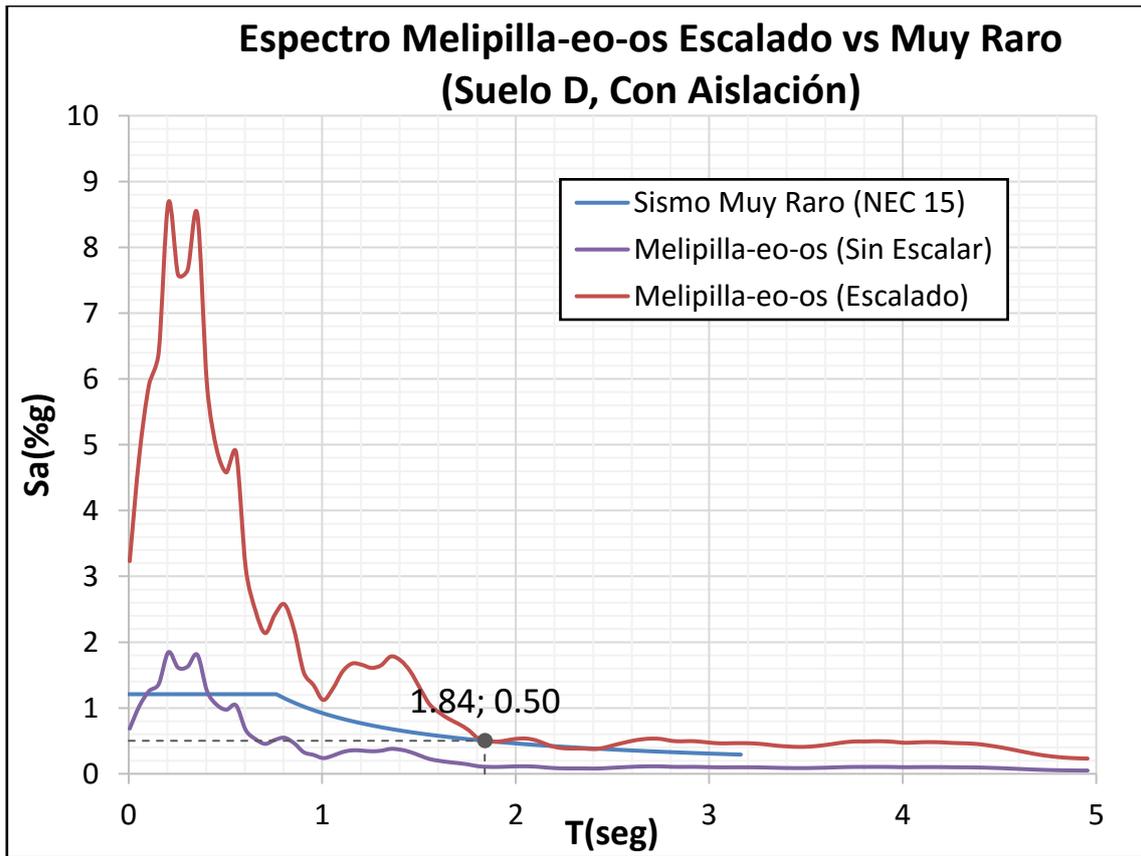


Figura 83. Espectro Melipilla-eo-os escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.

7. ESCALAMIENTO DEL REGISTRO SÍSMICO ASDO-N PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.

A continuación, se escalará el registro sísmico Asdo-N de Ecuador capturado en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas para los diferentes niveles sísmicos.

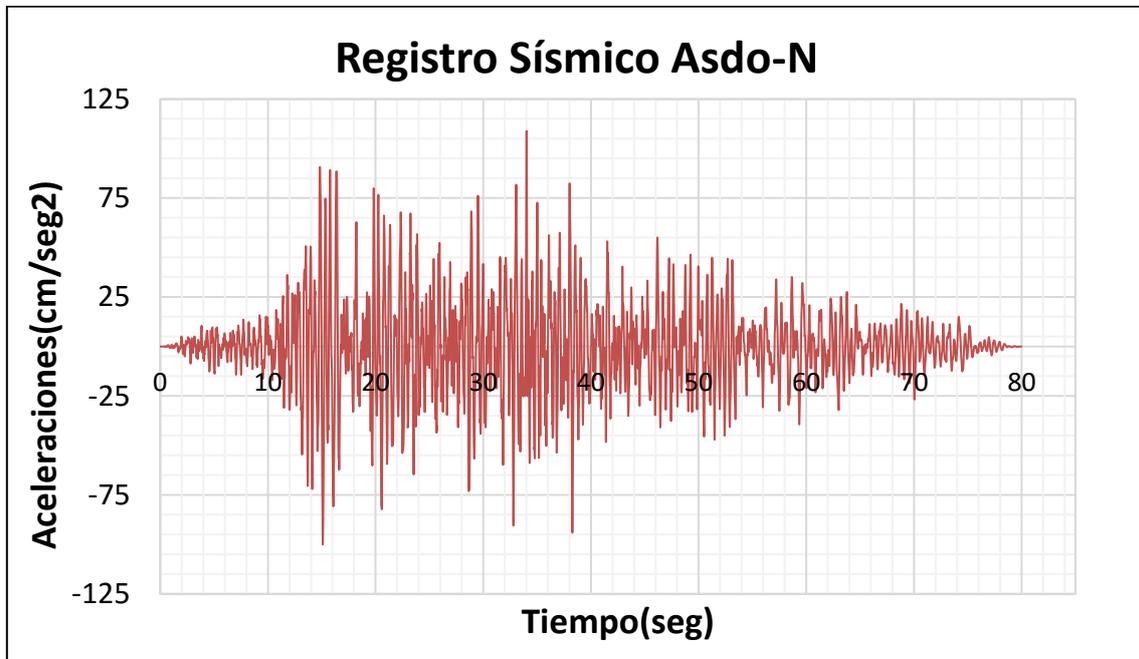


Figura 84. Registro sísmico Asdo-N.

7.1 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA FRECUENTE.

En las Figura 85 se muestra el espectro elástico de Asdo-N y el espectro elástico del sismo Frecuente (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.167 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 8.

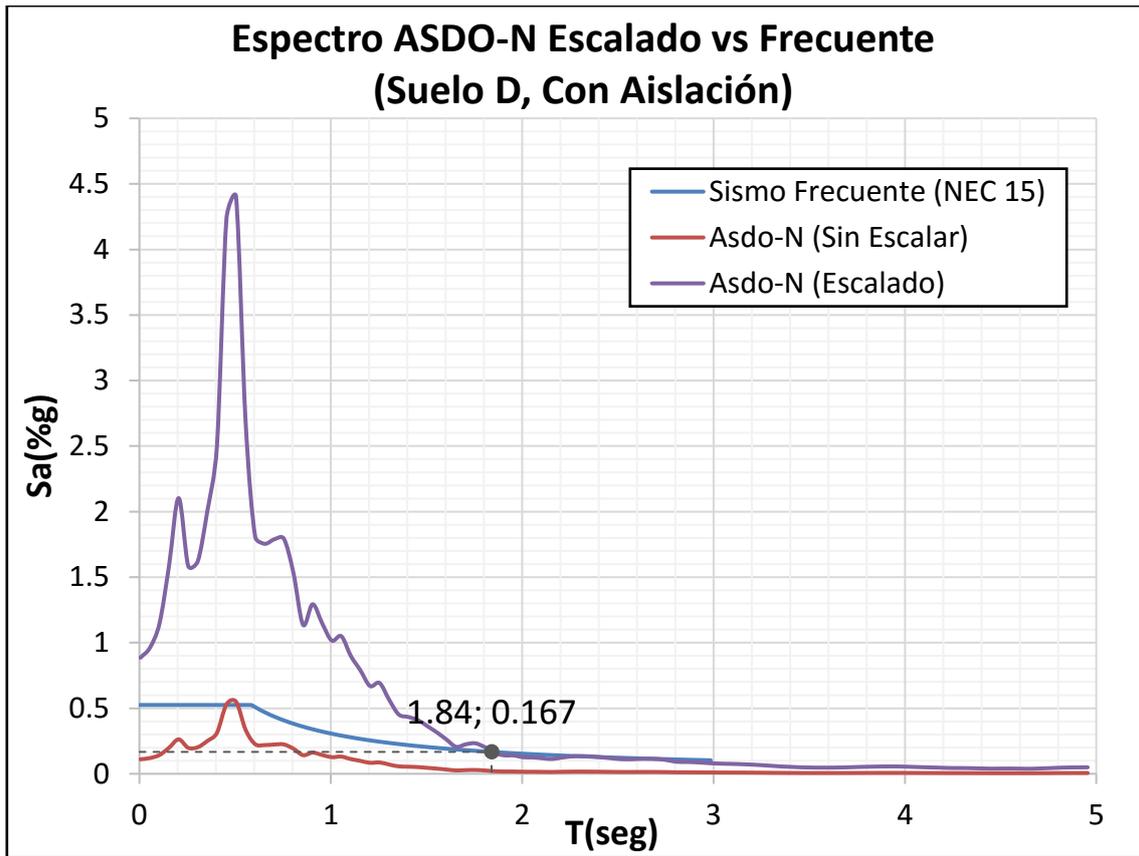


Figura 85. Espectro Asdo-N escalado a Frecuente para el edificio con aislación.

7.2 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA OCASIONAL.

En las Figura 86 se muestra el espectro elástico de Asdo-N y el espectro elástico del sismo Ocasional (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.237 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 11.

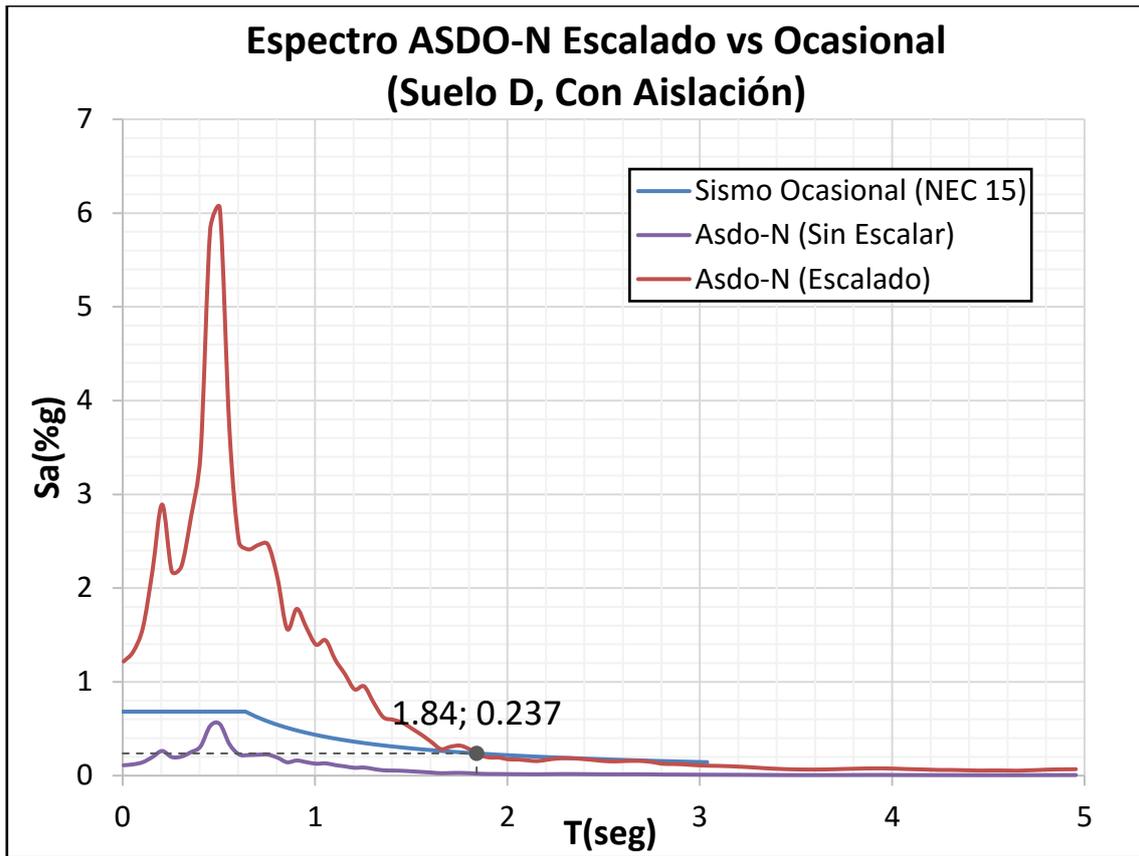


Figura 86. Espectro Asdo-N escalado a Ocasional para el edificio con aislación.

7.3 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA RARO-DISEÑO.

En las Figura 87 se muestra el espectro elástico de Asdo-N y el espectro elástico del sismo Raro -Diseño (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.328 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 15.

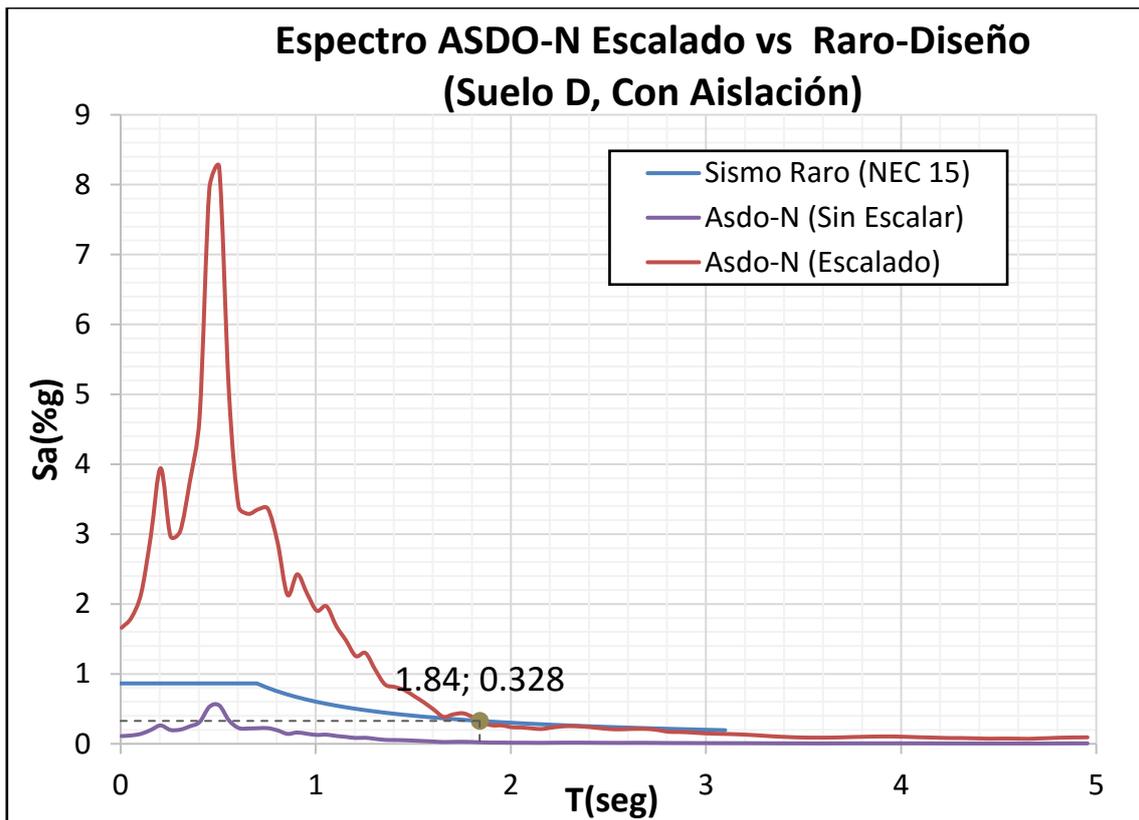


Figura 87. Espectro Asdo-N escalado a Raro-Diseño para el edificio con aislación.

7.4 NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA MUY RARO.

En las Figura 88 se muestra el espectro elástico de Asdo-N y el espectro elástico del sismo Muy Raro (NEC-15) correspondiente a suelo tipo D y zona sísmica V. Para el período de la estructura rehabilitada (con aislación), $T=1.84$ seg, los 2 espectros tienen una aceleración, S_a , de 0.50 g.

El factor de escalamiento para la estructura con aislación es 22.

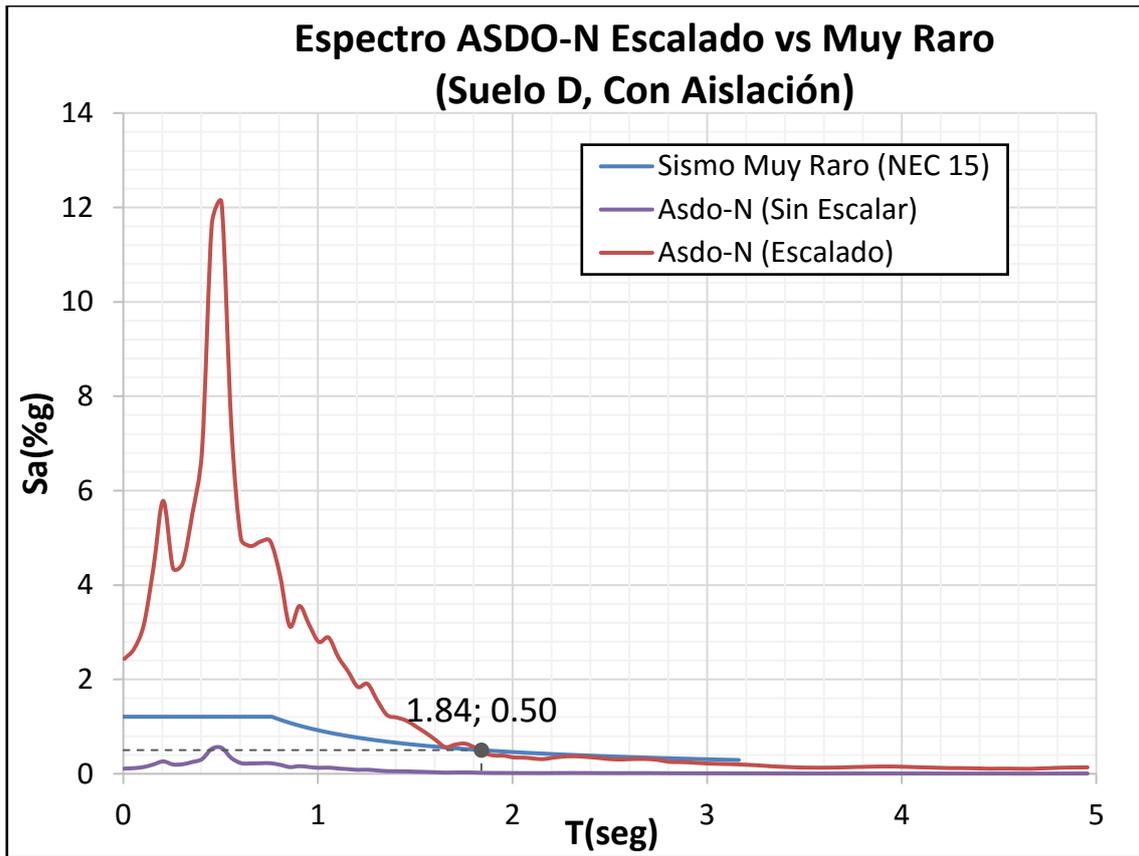


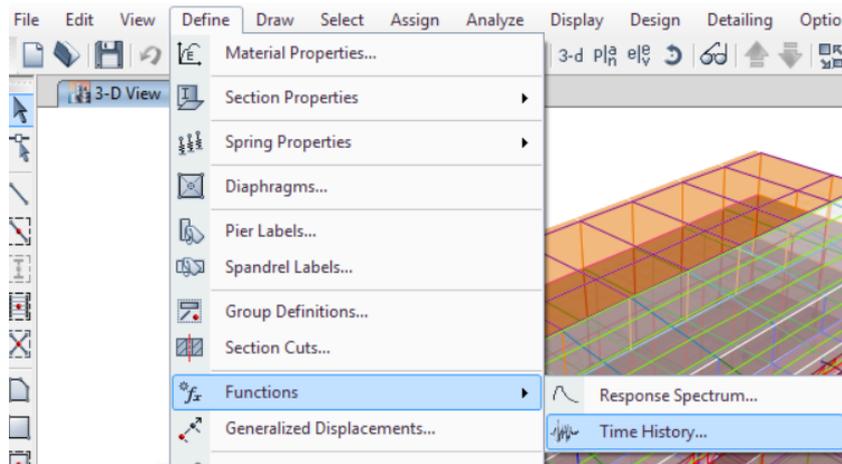
Figura 88. Espectro Asdo-N escalado a Muy Raro para el edificio con aislación.

APÉNDICE C

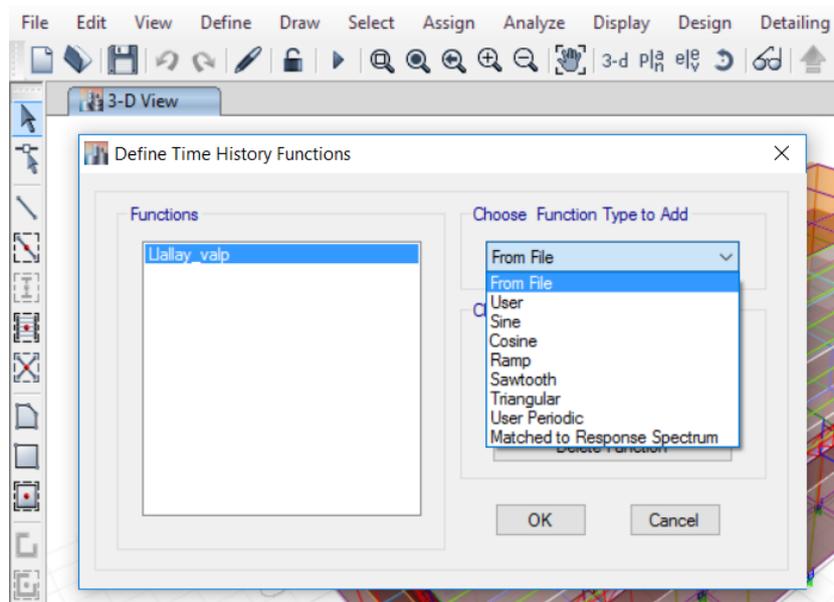
1. PASOS PARA DEFINIR UN REGISTRO SÍSMICO EN ETABS 2015

Para definir un registro sísmico en el modelo estructural se deben de seguir los siguientes pasos:

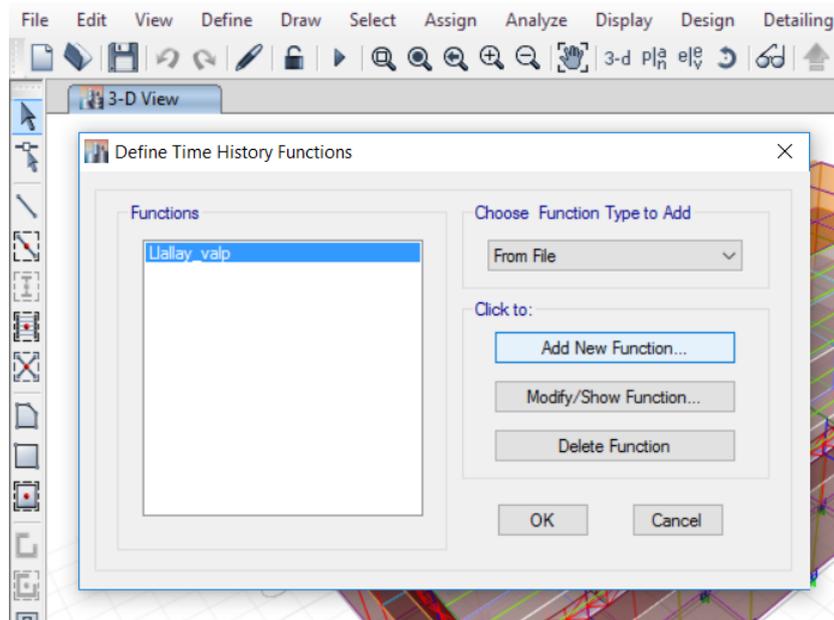
1. Hacemos click en *Define- Funtions- Time History*.



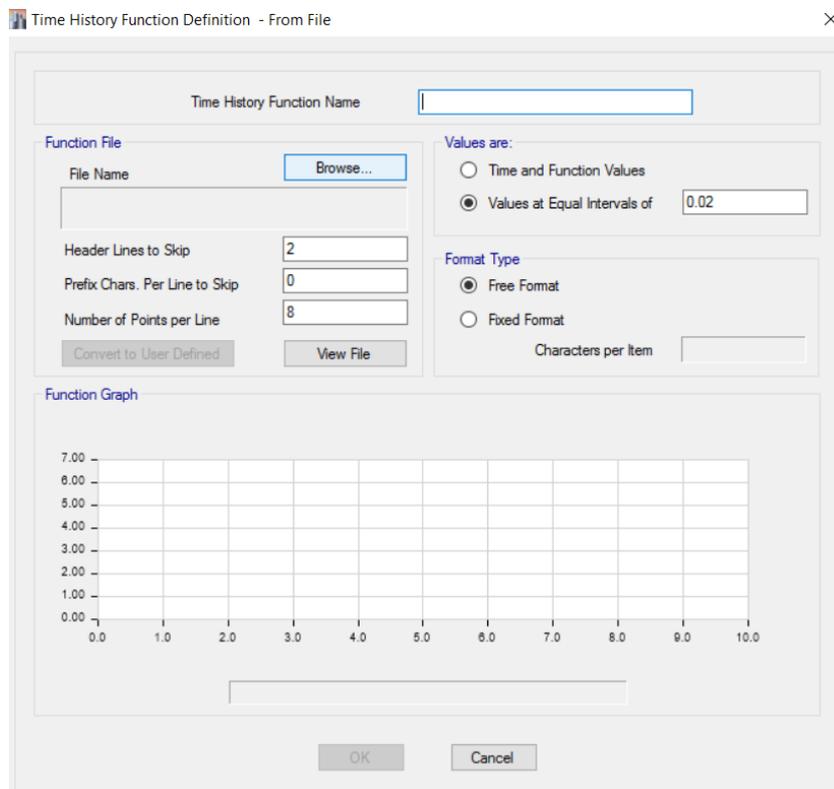
2. Aparecerá una ventana donde se debe elegir el tipo de función, en este caso damos click en *From File*.



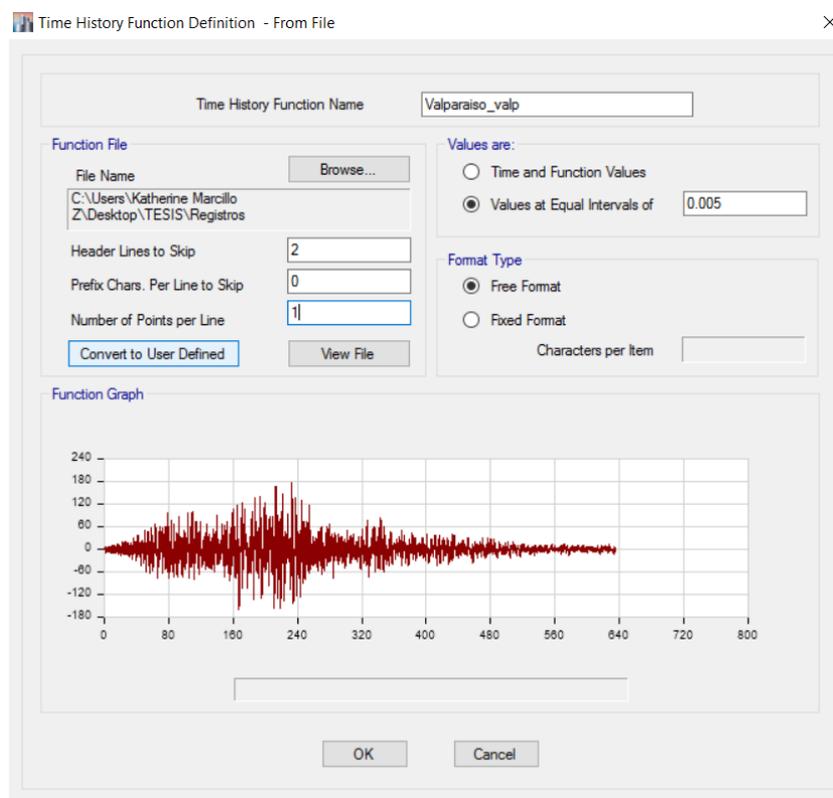
3. Luego de definir el tipo de función damos click en *Add New Function*.



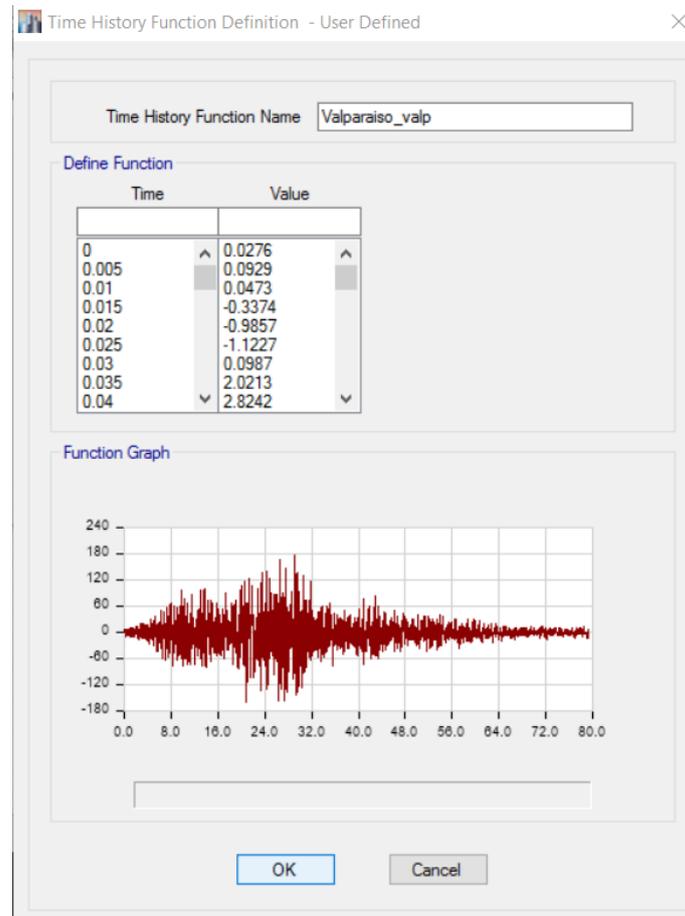
4. Después de añadir la nueva función aparecerá la ventana que nos permite definir los parámetros del registro sísmico, en donde damos click en *Browse*, opción que nos permite buscar el registro en su carpeta de destino.



5. Luego de seleccionarlo el registro aparecerá en la ventana la ruta de destino del mismo y se definirá automáticamente el nombre. Además, en la ventana se deben corregir en *Function File* lo siguiente: *Header Lines to Skip* a 2, *Prefix Chars. Per Line to Skip* a 0, *Number of Points per Line* a 1 valores que están en función de cómo este guardado el registro sísmico en el block de notas. En la opción *Values are* damos click en *Values at Equal Intervals of* y se asigna el valor de intervalo del registro 0.005 por ultimo en la opción *Format Type* damos click en la opción *Free format*. Después damos click en *Convert to User Defined*.



6. Después de dar click en *Convert to User Defined* aparecerá la siguiente ventana en la cual damos click en *OK* y se habrá definido el registro sísmico.

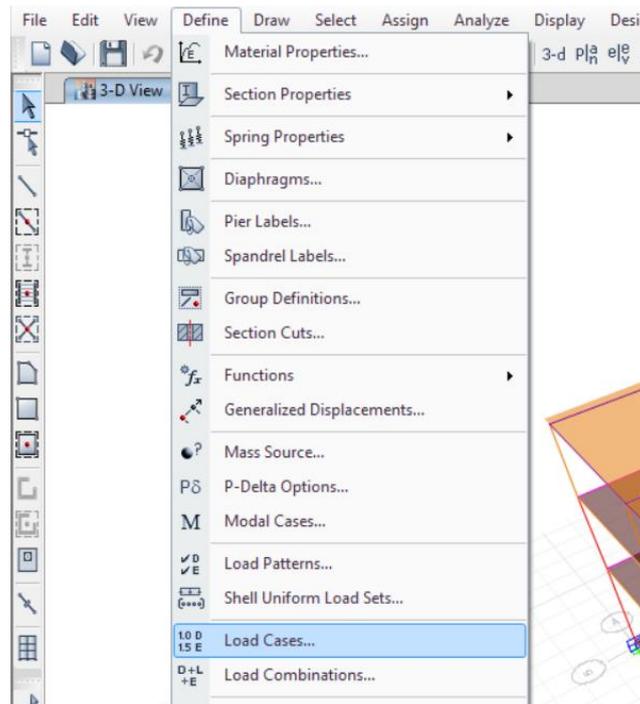


7. Repetimos estos pasos para ingresar los registros sísmicos que se deseen estudiar.

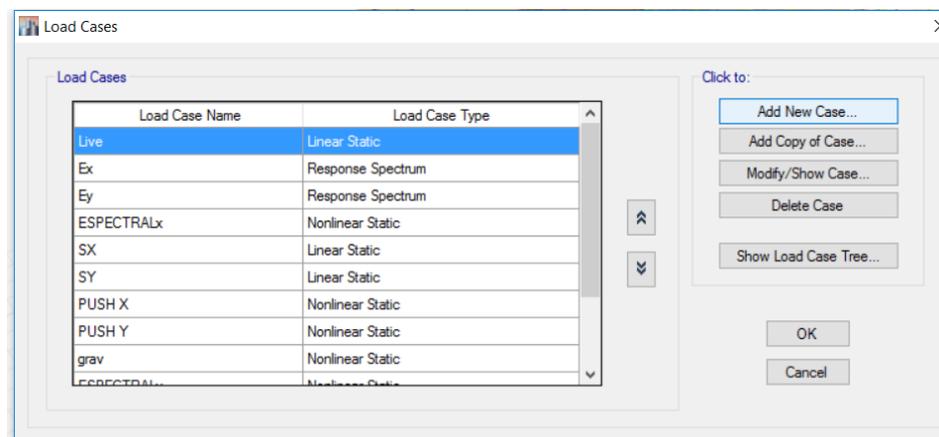
2. PASOS PARA DEFINIR UN CASO DE INTEGRACIÓN DIRECTA NO-LINEAL TIEMPO-HISTORIA EN ETABS 2015

Para definir un caso de integración directa No-Linear Tiempo-Historia en el modelo estructural se deben de seguir los siguientes pasos:

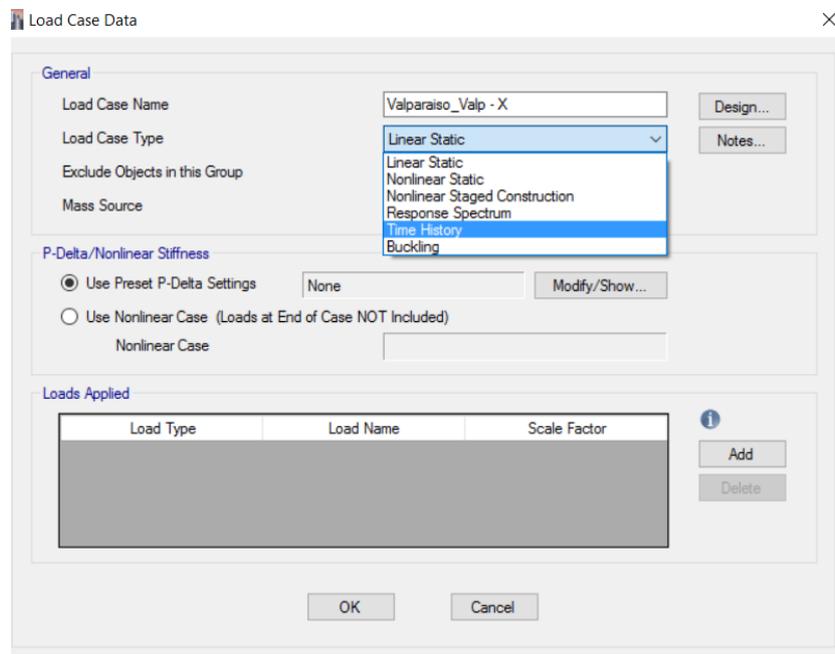
1. Hacemos click en *Define- Load Cases*.



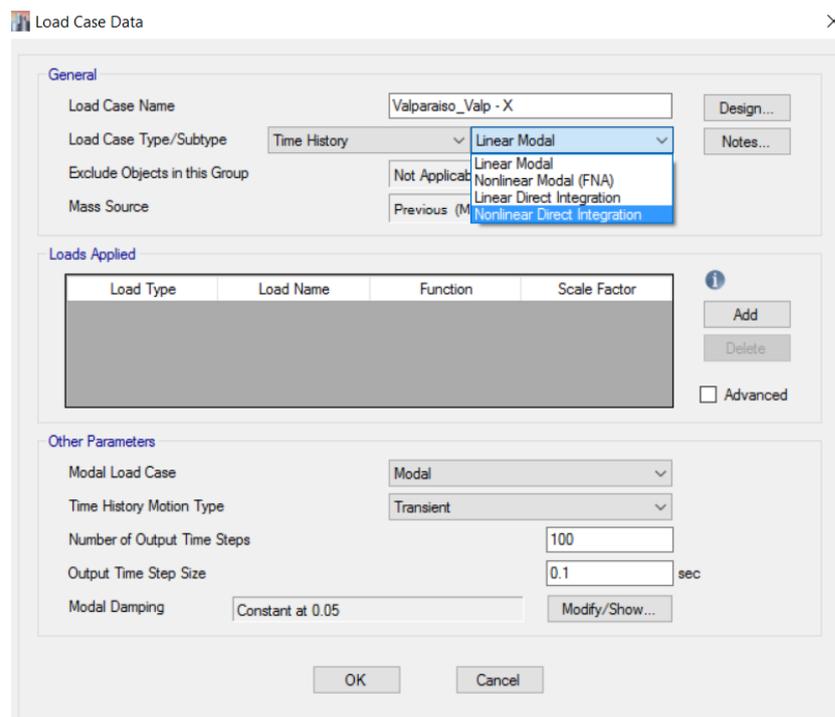
2. Aparecerá una ventana en la cual podremos añadir un nuevo caso, para esto damos click en *Add New Case*.



3. En la ventana siguiente en *General* cambiamos las siguientes opciones: En *Load Case Name* damos un nombre al caso, en *Load Case Type* seleccionamos el tipo de caso y damos click en *Time History*.



4. Después de seleccionar el tipo de caso aparecerá una nueva opción que nos permite seleccionar el método del análisis, seleccionamos el método que se desea emplear para este ejemplo damos click *Nonlinear Direct Integration*.

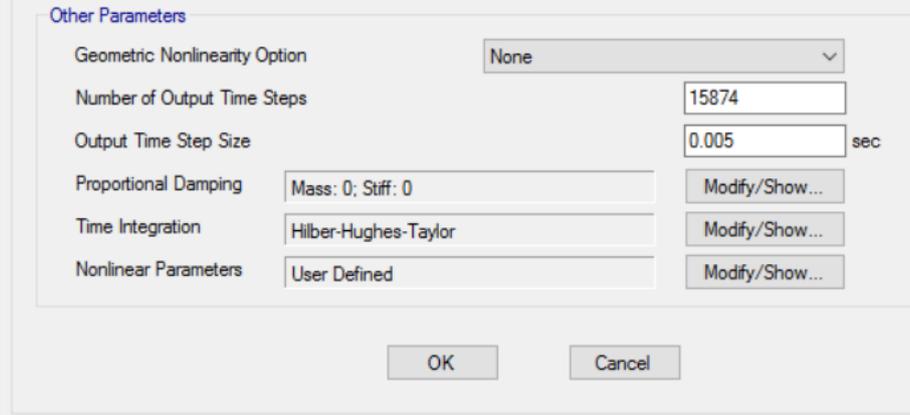


- Luego de seleccionar el método de análisis en la ventana aparece una nueva opción *Initial Conditions* en la cual damos click en *Zero Initial Conditions – Start from Unstressed State*. En *Loads Applied* añadimos un nuevo caso al dar click en *Add*.

- Al dar click en *Add* podemos establecer las siguientes condiciones: *Load Type* a *Acceleration*, *Load Name* a *U1* para la dirección “X” y *U2* para la dirección “Y”, *Function* a *Valparaiso_vap1* el registro sísmico antes definido y *Scale Factor* a *0.00155* el factor de escalamiento del registro sísmico.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Valparaiso_valp	0.0155

7. En Other Parameters asignamos lo siguiente: En *Number of Output Time Steps* a 15874 que es el número de datos del registro escogido, en *Output Time Step Size* a 0.01 o el número de tamaños de pasos de tiempo del registro sísmico.

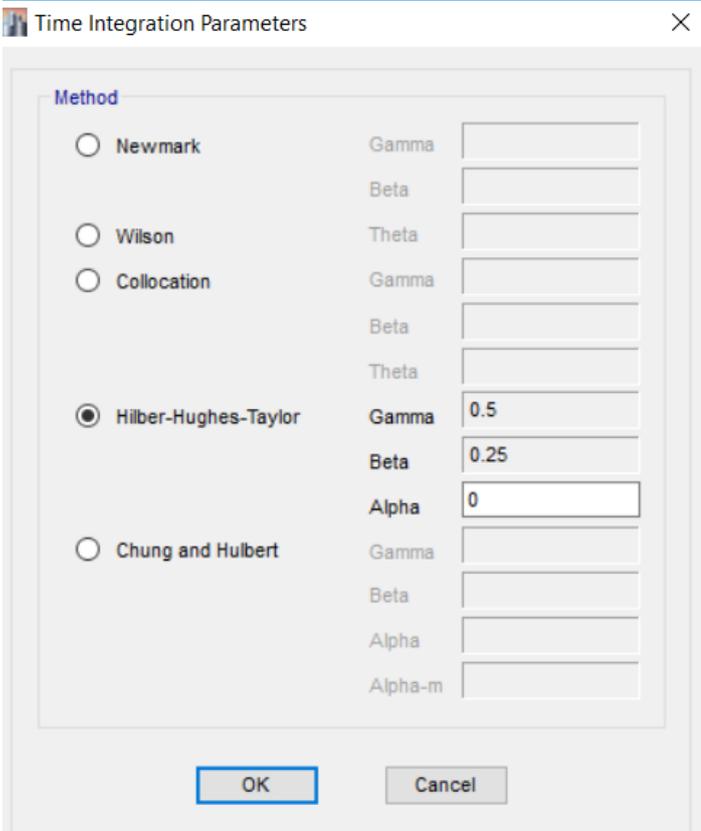


Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option	None	
Number of Output Time Steps	15874	
Output Time Step Size	0.005	sec
Proportional Damping	Mass: 0; Stiff: 0	Modify/Show...
Time Integration	Hilber-Hughes-Taylor	Modify/Show...
Nonlinear Parameters	User Defined	Modify/Show...

OK Cancel

En la opción Time Integration damos click en *Modify/Show* y al parecer una nueva ventana seleccionamos el método de integración que deseamos emplear y damos click en el que deseamos usar.



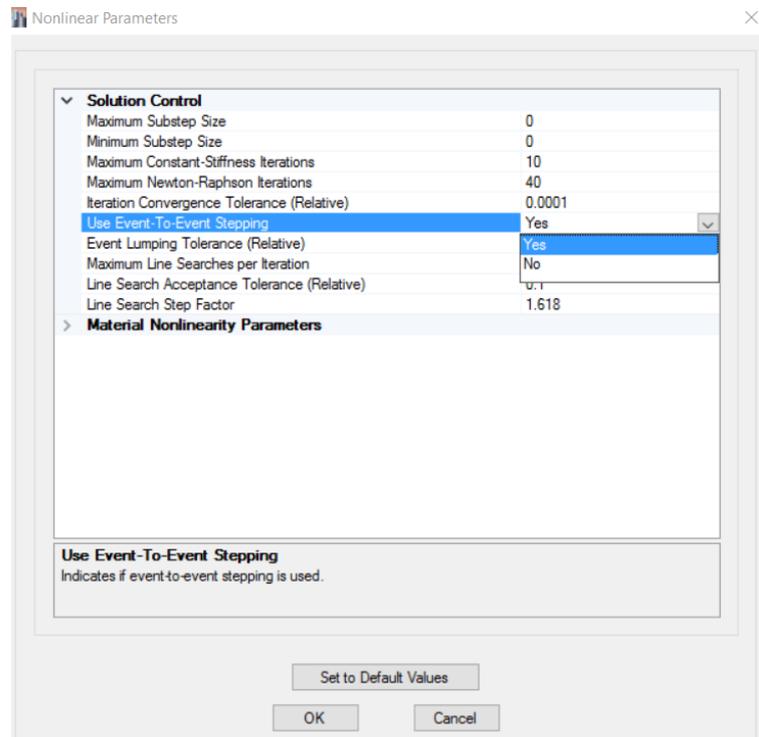
Time Integration Parameters

Method

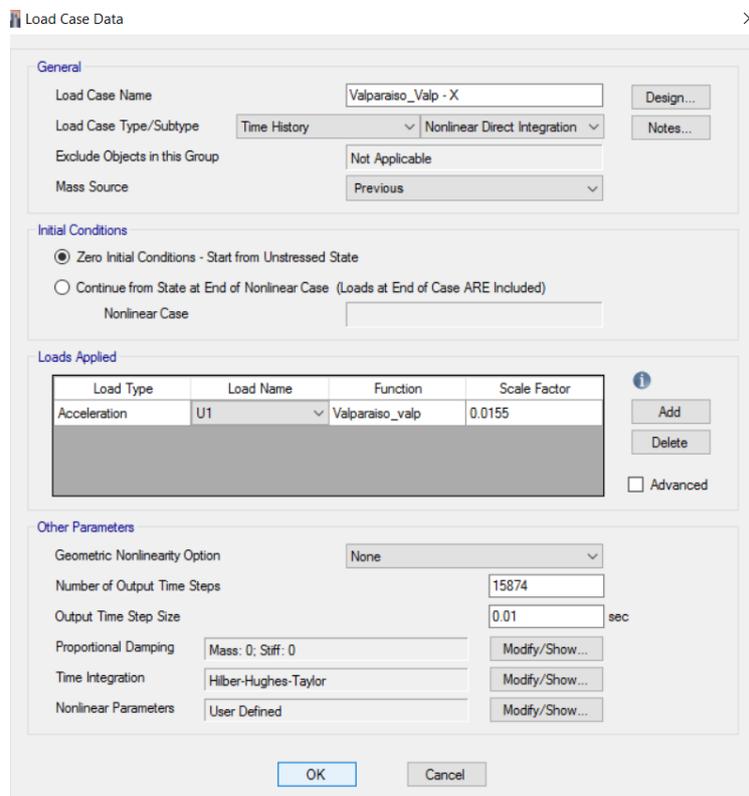
<input type="radio"/> Newmark	Gamma	
	Beta	
<input type="radio"/> Wilson	Theta	
<input type="radio"/> Collocation	Gamma	
	Beta	
	Theta	
<input checked="" type="radio"/> Hilber-Hughes-Taylor	Gamma	0.5
	Beta	0.25
	Alpha	0
<input type="radio"/> Chung and Hulbert	Gamma	
	Beta	
	Alpha	
	Alpha-m	

OK Cancel

Por ultimo en la opción *Nonlinear Parameters* damos click en *Modify/Show* el usuario puede definir parámetros adicionales para su análisis.



8. En la ventana general damos click en OK y se habrá definido el caso.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Marcillo Zavala Katherine Jahaira**, con C.C: # **0950333823** autor/a del trabajo de titulación: **Evaluación del Estudio de Rehabilitación del Edificio de la Facultad de Ingeniería con Aisladores Sísmicos por Medio de Análisis No-Linear Historia de la Respuesta** previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **13 de Septiembre de 2016**

f. 

Nombre: **Marcillo Zavala, Katherine Jahaira**

C.C: **0950333823**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Evaluación del Estudio de Rehabilitación del Edificio de la Facultad de Ingeniería con Aisladores Sísmicos por Medio de Análisis No-Lineal Historia de la Respuesta.		
AUTORA:	Katherine Jahaira Marcillo Zavala		
TUTOR:	Jaime Francisco Hernández Barredo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de Septiembre de 2016	No. DE PÁGINAS:	158
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sísmica, Análisis estructural 1 y 2, Hormigón 1 y 2, Proyecto Estructural.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Desplazamientos, registros sísmicos, niveles de amenaza de sísmica, aislación, espectro, factor de escalamiento, nivel de desempeño.		
RESUMEN/ABSTRACT: Este trabajo se estudia el desempeño de la Rehabilitación del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil con un sistema de aislación sísmica propuesto por Dunn (2016) mediante un análisis No-lineal Historia de la Respuesta. Para ello se establecieron 4 niveles sísmicos según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15): sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro. Además, se usaron 7 registros en suelo duro e intermedio: Llallay_Valp, Valparaiso-Valp, Vina200os, Ica2-EO, Llolleo1, Melipilla-eo-os, Asdo-N. Los registros fueron escalados en base al periodo principal de vibración de la estructura aislada. Se calcularon los desplazamientos máximos del último piso del edificio para cada uno de los registros y niveles sísmicos establecidos. Se determinó el desempeño del edificio para cada uno de los registros y niveles sísmicos y estos se compararon con los resultados obtenidos mediante el análisis Estático No-lineal (Pushover) realizado por Dunn (2016). Se determinaron las aceleraciones y derivas de entre piso para cada uno de los registros y niveles sísmicos. Finalmente, se evaluó el comportamiento del edificio y se identificó las bondades del uso del sistema de aislación.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTORA:	Teléfono: +593-0987213376	E-mail: jahitokatty15@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADORA DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +042-2202763		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			