

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO NAVE  
INDUSTRIAL MINERA CON Y SIN BRB SEGÚN  
NCH 2369.**

**CRISTIÁN ALONSO HENRÍQUEZ RAMONET**

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de  
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:

**MIGUEL ANDRÉS MEDALLA RIQUELME**

Santiago de Chile, octubre, 2017.

A mi familia y amigos quienes me han apoyado a lo largo de la vida. Un agradecimiento especial a mi esposa Consuelo, quien me ha apoyado incondicionalmente en esta difícil travesía que finalmente llega a buen puerto.

## AGRADECIMIENTOS

En este capítulo quiero manifestar mi más sentido agradecimiento a mi familia, en especial a mi esposa Consuelo y mis padres, dado que han estado en los buenos y difíciles momentos, con una sonrisa para felicitarme o darme ánimo para continuar avanzando. Su apoyo incondicional fue fundamental para terminar con éxito el programa.

Además quiero agradecer al profesor Miguel Medalla por su buena disposición para enseñar, guiar y orientar, a pesar de todas las dificultades que tuve para el desarrollo del estudio, gracias Miguel por confiar en mí.

Finalmente quiero agradecer a mis compañeros y amigos Javier Berrios, Carlos Arrate y Andres Urrutia, dado que sin el trabajo en equipo hubiese sido difícil haber sorteado todos los ramos del programa de buena manera. Todo el trabajo en conjunto hasta altas horas de la noche, finalmente rindieron frutos.

Una última mención honrosa, quiero dedicar a Carlos dado que me apoyo en la última y más difícil parte del programa, dado que sin su apoyo difícilmente podría haber terminado a tiempo.

Gracias totales.....

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....	ii
I INTRODUCCIÓN.....	17
II ASPECTOS GENERALES.....	19
II.1 General.....	19
II.2 Objetivo del Estudio.....	20
II.3 Alcance del Estudio.....	21
II.4 Exclusiones.....	22
II.5 Antecedentes.....	22
III MARCO TEÓRICO.....	23
III.1 Aspectos Normativos o Estado del Arte.....	23
III.2 Estructuración.....	25
III.3 Demanda Sísmica.....	35
III.4 Respuesta Sísmica.....	37
III.5 Anteproyecto de Norma – Actualización NCh2369.....	41
IV DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL DE LOS CASOS de estudio.....	44
IV.1 Caso 1: Diseño NCh2369:2003.....	44
IV.1.1Solicitud Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.....	44
IV.1.2Análisis Modal Espectral.....	45
IV.1.3Diseño según Norma Chilena NCh2369:2003.....	46
IV.2 Caso 2:.....	48
IV.2.1Solicitud Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.....	48
IV.2.2Análisis Modal Espectral.....	48
IV.2.3Diseño según Propuesta a Norma Chilena NCh2369.....	48
IV.3 Caso 3:.....	48
IV.3.1Solicitud Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.....	48
IV.3.2Análisis Modal Espectral.....	49
IV.3.3Diseño con BRBF.....	49
IV.4 Caso 4:.....	51
IV.4.1Solicitud Registros Artificiales.....	51

	IV.4.2 Análisis No Lineal. ....	55
	IV.4.3 Verificación de los 3 diseños anteriores. ....	55
V	ESTRUCTURACIÓN. ....	56
VI	ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL. ....	58
	VI.1 Condición del Sitio. ....	58
	VI.2 Normas y Estándares. ....	59
	VI.3 Materiales. ....	59
	VI.4 Estados de Carga. ....	59
	VI.4.1 Cargas permanentes (DL). ....	60
	VI.4.2 Cargas Operacionales (Po). ....	64
	VI.4.3 Sobrecarga de Uso (LL). ....	66
	VI.4.4 Cargas de Viento (W). ....	68
	VI.4.5 Cargas de Nieve (S) ....	68
	VI.4.6 Cargas Sísmicas (E). ....	68
	VI.5 Combinaciones de Carga. ....	70
	VI.5.1 Combinaciones método tensiones admisibles (ASD) ....	70
	VI.6 Deformaciones Máximas. ....	71
VII	COMPARACIÓN DE RESULTADOS. ....	72
	VII.1 Resultados Diseño Caso 1. ....	72
	VII.1.1 Perfiles Utilizados. ....	72
	VII.1.2 Periodo de la Estructura. ....	75
	VII.1.3 Corrección por Corte Mínimo. ....	77
	VII.1.4 Verificación de las Columnas. ....	78
	VII.1.5 Verificación de Vigas. ....	79
	VII.1.6 Verificación de Diagonales. ....	82
	VII.1.7 Verificación de desplazamientos. ....	84
	VII.1.8 Checklist cumplimiento NCh2369:2003. ....	87
	VII.2 Resultados Diseño Caso 2. ....	88
	VII.2.1 Perfiles Utilizados. ....	88
	VII.2.2 Periodo de la Estructura. ....	91
	VII.2.3 Corrección por Corte Mínimo. ....	92
	VII.2.4 Verificación de las Columnas. ....	93
	VII.2.5 Verificación de Vigas. ....	94

VII.2.6	Verificación de las Riostras.....	97
VII.2.7	Verificación de desplazamientos.....	100
VII.2.8	Checklist cumplimiento de Anteproyecto de norma NCh2369.103	
VII.3	Resultados Diseño Caso 3.....	104
VII.3.1	Solicitud.....	104
VII.3.2	Estructuración.....	104
VII.3.3	Perfiles Utilizados.....	106
VII.3.4	Corrección por Corte Mínimo.....	107
VII.3.5	Verificación BRB Elásticas.....	108
VII.3.6	Verificación de las Columnas.....	109
VII.3.7	Verificación de desplazamientos.....	112
VII.4	Resultados Diseño Caso 4.....	115
VII.4.1	Verificación No Lineal Caso 1: Riostras Convencionales diseño NCh2369:2003.....	115
VII.4.2	Verificación No Lineal Caso 2: Riostras Convencionales Diseño Anteproyecto NCh2369.....	136
VII.4.3	Verificación No Lineal Caso 3: BRB.....	155
VIII	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	175
IX	ANEXOS.....	189
X	BIBLIOGRAFÍA.....	190

#### **INDICE DE TABLAS.**

Tabla IV.1:	Valor de la aceleración efectiva máxima $A_0$ .....	44
Tabla IV.2:	Parámetros que dependen del tipo de suelo.....	44
Tabla IV.3:	Razón de Amortiguamiento.....	45
Tabla IV.4:	Valores máximos del factor de modificación de la respuesta.....	45
Tabla VI.1:	Sobrecarga y Masa Sísmica.....	66
Tabla VI.2:	Límites de deformaciones máximas.....	71
Tabla VII.1:	Caso 1 - Esbeltez global y local.....	74
Tabla VII.2:	Caso 1 - Periodo y factor de participación modal.....	75
Tabla VII.3:	Verificación del Corte Mínimo Caso 1.....	77
Tabla VII.4:	Caso 1 - Solicitud máxima axial en columnas.....	78

Tabla VII.5: Caso 1 - Solicitación máxima axial en vigas.....	79
Tabla VII.6: Caso 1 - Factor de utilización vigas IN30x36,7. ....	80
Tabla VII.7: Caso 1 - Factor de utilización vigas IN20x19,8. ....	81
Tabla VII.8: Caso 1 - Factor de utilización diagonal XL13x9,56.....	82
Tabla VII.9: Caso 1 - Factor de utilización diagonal XL10x5,87.....	82
Tabla VII.10: Caso 1 - Factor de utilización diagonal XL16x14,1.....	83
Tabla VII.11: Caso 1 - Desplazamientos Máximos. ....	84
Tabla VII.12: Caso 1 - Desplazamiento Vertical Máximo.....	86
Tabla VII.13: Caso 2 - Esbeltez global y local. ....	90
Tabla VII.14: Caso 2 - Periodo y factor de participación modal. ....	91
Tabla VII.15: Caso 2 - Verificación del Corte Mínimo. ....	92
Tabla VII.16: Caso 2 - Solicitación máxima axial en columnas.....	93
Tabla VII.17: Caso 2 - Solicitación máxima en vigas IN30x41,3. ....	94
Tabla VII.18: Caso 2 – Solicitación máxima vigas IN30x36,7. ....	95
Tabla VII.19: Caso 2 – Solicitación máxima vigas IN20x19,8. ....	96
Tabla VII.20: Caso 2 – Solicitación máxima diagonales XL13x9,56.....	97
Tabla VII.21: Caso 2 – Solicitación máxima diagonales XL10x5,18.....	98
Tabla VII.22: Caso 2 – Solicitación máxima diagonales XL10x5,87.....	99
Tabla VII.23: Caso 2 – Solicitación máxima diagonales XL16x14,1.....	99
Tabla VII.24: Caso 2 - Desplazamientos Máximos. ....	100
Tabla VII.25: Caso 2 - Desplazamiento Vertical Máximo.....	102
Tabla VII.26: Verificación del Corte Mínimo Caso 3. ....	108
Tabla VII.27: Verificación Columna Interior. ....	110
Tabla VII.28: Verificación Columna Exterior. ....	111
Tabla VII.29: Caso 3 - Desplazamientos Máximos. ....	112
Tabla VII.30: Caso 2 - Desplazamiento Vertical Máximo.....	114
Tabla VII.31: Esbeltez Global Diagonales Convencionales. ....	115
Tabla VII.32: Interpolación lineal esbelteces normalizadas. ....	117
Tabla VII.33: Esbeltez Global Diagonales Convencionales. ....	136
Tabla VII.34: Interpolación lineal esbelteces.....	136
Tabla VIII.1: Peaks registros artificiales.....	175

Tabla VIII.2: Resumen comportamiento Caso 1.....	176
Tabla VIII.3: Resumen comportamiento Caso 2.....	179
Tabla VIII.4: Resumen comportamiento Caso 3.....	180
Tabla VIII.5: Corte Basal y desplazamiento de techo.....	182
Tabla VIII.6: Consideraciones para las irregularidades en vertical. Fuente ASCE 7-16..	188

### **INDICE DE GRÁFICOS.**

Gráfico IV.1: Espectro Caso 1. ....	47
Gráfico IV.2: Espectro Caso 3 BRB. ....	49
Gráfico IV.3: Registro Artificial 1, 2 y 3 DLE. Fuente: Elaboración Propia.....	51
Gráfico IV.4: Registro Artificial 1, 2 y 3 OLE. ....	52
Gráfico IV.5: Registro Artificial 1, 2 y 3 MCE. ....	53
Gráfico VII.1: Espectro CBF y Periodos Fundamentales. ....	77
Gráfico VII.2: Desplazamiento Horizontal Máximo. ....	85
Gráfico VII.3: Desplazamiento Máximo Relativo. ....	85
Gráfico VII.4: Espectro CBF y Periodos Fundamentales. ....	92
Gráfico VII.5: Desplazamiento Máximo Relativo. ....	101
Gráfico VII.6: Desplazamiento Horizontal Máximo. ....	101
Gráfico VII.7: Espectro CBF y Periodos Fundamentales. ....	107
Gráfico VII.8: Desplazamiento Máximo Relativo. ....	113
Gráfico VII.9: Desplazamiento Horizontal Máximo. ....	113
Gráfico VII.10: Tensión deformación Normalizada para las distintas esbelteces. ....	117
Gráfico VII.11: Tensión deformación para las distintas riostras. ....	137
Gráfico VII.12: Tensión Deformación BRB.....	157

### **INDICE DE FIGURAS.**

Figura III.1: Configuración de marcos rígidos.....	25
Figura III.2: Configuración de sistemas CBF. ....	26
Figura III.3: Longitud de pandeo. ....	27

Figura III.4: Marcos arriostrados excéntricos (EBF).	28
Figura III.5: Antecedentes históricos BRB.	29
Figura III.6: Ensayos de diagonal convencional y de BRB.	29
Figura III.7: Edificio con diagonales de pandeo restringido.	30
Figura III.8: Detalle BRB.	30
Figura III.9: Marcos Arriostrados.	31
Figura III.10: Curva de Histéresis MAC con 1 BRB.	31
Figura III.11: Representación de los BRB.	33
Figura III.12: Configuraciones de BRBF.	34
Figura III.13: Espectros de diseño.	38
Figura IV.1: Esquema de Diagonal BRB.	50
Figura IV.2: Curva de Histéresis BRB Hardening.	55
Figura V.1: Planta edificio despacho de camiones.	56
Figura V.2: Elevación edificio despacho de camiones	56
Figura V.3:Modelo Arriostrado CSI Sap2000.	57
Figura VI.1: Asignación de solicitaciones en Modelo.	63
Figura VI.2: Sección transversal de material en correa.	64
Figura VI.3: Masa Sísmica.	69
Figura VII.1: Elevación perfilaría eje 1 y eje 2.	72
Figura VII.2: Perfilarías Eje E, F, G y H.	73
Figura VII.3: Orientación de los Ejes del Modelo.	75
Figura VII.4: Modos de Vibrar de la estructura.	76
Figura VII.5: Caso 1 - Columnas más solicitada (Eje 1 y Eje 2).	78
Figura VII.6: Caso 1 - Vigas apoyo tolva más solicitada.	79
Figura VII.7: Caso 1 – Vigas IN30x36,7.	80
Figura VII.8: Caso 1 – Vigas IN20x19,8.	81
Figura VII.9: Caso 1 – Elevación Eje 1 y 2 diagonales.	82
Figura VII.10: Caso 1 – Diagonales más solicitadas vigas H, G, F y E.	83
Figura VII.11: Plataforma nivel 10.800, zona apoyo de la tolva.	86
Figura VII.12: Lugar de ubicación punto de mayor deflexión.	86
Figura VII.13: Elevación perfilaría eje 1 y eje 2.	88

Figura VII.14: Perfilarías Eje E, F, G y H.....	89
Figura VII.15: Caso 1: Columnas más solicitada.....	93
Figura VII.16: Caso 2 – Solicitación máxima vigas de apoyo de la tolva.....	94
Figura VII.17: Solicitación máxima en vigas IN30x36,7.....	95
Figura VII.18: Solicitación máxima en vigas IN20x19,8.....	96
Figura VII.19: Solicitación máxima en diagonales Ejes 1 y 2.....	97
Figura VII.20: Solicitación máxima en diagonales Ejes H, E, F y G.....	98
Figura VII.21: Plataforma nivel 10.800 mm, zona apoyo de la tolva.....	102
Figura VII.22: Lugar de ubicación punto de mayor deflexión.....	102
Figura VII.23: Espectro de diseño Caso 3.....	104
Figura VII.24: Estructuración de los BRB.....	105
Figura VII.25: Estructuración Caso 3.....	106
Figura VII.26: Factores de Utilización de las BRB.....	109
Figura VII.27: Columnas interior y exterior seleccionadas.....	110
Figura VII.28: Plataforma nivel 10.800 mm, zona apoyo de la tolva.....	114
Figura VII.29: Lugar de ubicación punto de mayor deflexión.....	114
Figura VII.30: Curvas de histéresis para $kl/r = 80$ y $120$ elementos TL.....	115
Figura VII.31: Tensión Deformación Normalizada $KL/r = 80$ y $120$ .....	116
Figura VII.32: Multilinear Plastic Sap2000.....	118
Figura VII.33: Parámetros Tiempo Historia.....	118
Figura VII.34: Curva de tensión deformación BRB y riostras convencionales.....	155
Figura VIII.1: Curva de Histéresis elemento L5 demanda MCE2.....	177
Figura VIII.2: Curva de Histéresis elemento L35 demanda MCE3.....	177
Figura VIII.3: Curva de Histéresis elemento L8 demanda MCE3.....	178
Figura VIII.4: Curva de Histéresis elemento L5 demanda MCE3.....	178
Figura VIII.5: Curva de Histéresis elemento L35 demanda MCE3.....	179
Figura VIII.6: Curva de Histéresis BRB elemento L5 demanda MCE1.....	180
Figura VIII.7: Curva de Histéresis BRB elemento L36 demanda MCE3.....	181
Figura VIII.8: Estructuración.....	183
Figura VIII.9: Tiempo Historia desplazamiento de techo en dir. X demanda OLE3.....	185
Figura VIII.10: Tiempo Historia desplazamiento de techo en dir. X demanda DLE3.....	186

Figura VIII.11: Tiempo Historia desplazamiento de techo en dir. X demanda MCE3..... 186

## **RESUMEN.**

Previo al año 2010 las normas sismorresistentes utilizadas en Chile eran la NCh433Of196Mod2009 para edificios habitacionales y la NCh2369:2003 para instalaciones industriales. Luego del terremoto del año 2010 se ve la necesidad de actualizar la norma sismorresistente para edificios habitacionales NCh433 debido al tipo de fallas que presentaron algunos edificios. En cambio, la normativa sismorresistente de instalaciones industriales no sufrió modificaciones en esa oportunidad sobre la base que no se presentaron daños considerables.

El año 2014 se forma un comité con el fin de actualizar la NCh2369. Este comité presenta su anteproyecto el año 2017, el cual, considera importantes modificaciones e incorpora aspectos no normados en el área industrial.

Este trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento de tres diseños para un edificio industrial de marco arriostrados, el primero bajo el procedimiento normativo actual (Caso 1), el segundo consiste en utilizar el anteproyecto de la norma (Caso 2), con el fin de evaluar las implicancias a través del comportamiento de la respuesta de la estructura. Este estudio, a su vez, se incorpora un diseño adicional denominado Caso 3 que considera un sistema arriostrado con BRB o diagonales de pandeo restringido. Este dispositivo se incorpora como un caso adicional dado su emergente uso en Estados Unidos y considerando que aún no ha sido normado en Chile.

El procedimiento de diseño utilizado considera un predimensionamiento y diseño con análisis modal espectral. Luego las estructuras son sometidas a nueve registros tiempo historia bajo una condición de demanda operacional (OLE), de diseño (DLE) y una máxima creíble (MCE).

Los resultados obtenidos indican que no existen grandes diferencias entre los diseños del marco arriostrado de la NCh2369:2003 y el anteproyecto de norma. La única diferencia para

el caso de estudio es que el anteproyecto cuenta con un comportamiento más dúctil que la norma actual.

Respecto al diseño con BRB, bajo los supuestos utilizados y las condiciones de la NCh2369, la configuración empleada con estos dispositivos no resulta favorable dado que la estructura queda con desplazamiento remanente frente a condiciones de sismo de operación, diseño y máximo creíble, lo cual indica que para su implementación se requiere calibrar la normativa ASCE/AISC a la realidad nacional.

## **ABSTRACT.**

Prior to 2010, the seismic standards used in Chile were NCh433Of196Mod2009 for residential buildings, while the standard used for industrial facilities was NCh2369: 2003.

After the earthquake of 2010, the earthquake-resistant standard for residential buildings (NCh433) was updated, due to the type of damage that some buildings presented. In contrast, the seismic-resistant regulations of industrial facilities remained unchanged because the industries did not present significant damage.

The committee to update the Nch2369 regulation was formed in 2014. In 2017, the committee presented the preliminary draft standard. The preliminary design makes modifications in the design criterion and incorporates aspects not previously regulated.

The objective of this work is to analyze the behavior of three designs for an industrial frame building braced under three cases.

The first design considers using the current standard (Case 1). The second design considers using the draft standard (Case 2).

This study also considers a third case that analyzes a braced system with BRB or buckling restrained braced. This device is incorporated as an additional case given its emerging use in the United States and considering that it has not yet been regulated in Chile. The design procedure used was based on a pre-dimensioning and design with spectral modal analysis.

We then analyze the response of the structure submitted to nine time history records under an operational (OLE), design (DLE) and a credible maximum (MCE) demand.

The results obtained indicate that there are no major differences between the designs of the braced frame of NCh2369: 2003 and the draft standard.

The draft has a more ductile behavior than the current standard. Regarding the design with BRB, under the assumptions used and the restrictions of the NCh2369, this device is not favorable, since the structure remains with remnant displacement against conditions of operation, design, and credible maximum quake.

Finally, it is concluded that to implement BRBs it is necessary to calibrate the ASCE / AISC regulations to Chilean standards.

## **I INTRODUCCIÓN.**

Uno de los fundamentos del diseño estructural es lograr diseñar elementos que sean capaces de resistir tanto la carga de uso y las solicitaciones de las fuerzas naturales, por ello, resulta fundamental estimar la demanda y predecir el comportamiento de la estructura con el objetivo de controlar y predecir las fallas, logrando así, diseños más seguros que permitan salvar vidas.

En el marco de estandarizar los criterios de diseño, cada país establece normas y/o reglamentos que entregan las condiciones mínimas para el análisis y diseño estructural sismorresistente. En Chile, la normativa que condiciona los diseños de edificios industriales es la norma NCh2369, oficial desde el año 2003.

Previo al año 2010, la NCh433Of96Mod2009 era la norma chilena para el diseño estructural de edificios habitacionales, mientras que para instalaciones industriales era la NCh2369:2003. Posterior al sismo del 27 de febrero del 2010, cuyo epicentro fue en la región del Maule, la normativa de edificios habitacionales es revisada, considerando los tipos de fallas que se presentaron. Esta revisión concluyó con la actualización de la normativa sismorresistente a través de los decretos 60 y 61. Por otro lado, la norma NCh2369:2003 no entra en proceso de revisión debido a que las fallas producidas en las estructuras industriales no se consideran relevantes, como para realizar cambios en el corto plazo.

A partir del año 2014 se convoca para realizar la revisión, a nivel de anteproyecto, de la norma NCh2369 con el fin de incorporar las mejores prácticas ingenieriles a partir de experiencias de terremotos recientes, junto con el desarrollo de capítulos de obras no abarcadas por la normativa, como es el caso de infraestructura portuaria.

El estudio que se presenta a continuación, tiene como objetivo el comparar el comportamiento de tres estructuras arriostradas, una diseñada con la normativa vigente

NCh2369:2003, otra diseñada con el anteproyecto de la NCh2369 en revisión del año 2017 y una tercera estructura diseñada con diagonales de pandeo restringido (BRB) que actualmente no está normado en Chile.

Como estructura objeto de análisis se estudia un edificio proyectado de marcos arriostrados ubicado en la región de Atacama. La función de este sistema estructural es cargar con concentrado de cobre las bateas de los camiones.

Los análisis contemplarán un diseño tradicional a través de análisis modales espectrales y verificaciones de comportamiento a través de análisis tiempo historia no lineal.

## **II ASPECTOS GENERALES.**

### **II.1 General.**

El principal objetivo de los códigos de diseño estructural es prevenir el colapso frente a un sismo severo, y no es necesariamente, forma parte de su filosofía limitar el daño, ni mantener las instalaciones operativas post-sismo ni proveer formas de reparación fáciles, su objetivo es salvar vidas.

Para lograr sobrevivir a un sismo severo sin un colapso del edificio es necesario contar con diseños con comportamiento dúctil. Esto es posible lograr a partir de la ductilidad del material, ductilidad en los elementos y ductilidad en el sistema estructural.

Los sistemas estructurales más utilizados en estructuras de acero de edificios industriales son los marcos arriostrados y los marcos rígidos. Dentro de los arriostrados, lo convencional en Chile es utilizar marcos arriostrados concéntricos (CBF), mientras que los marcos arriostrados excéntricos (EBF) no son muy utilizados en Chile.

A partir del año 2000 en Estados Unidos una nueva tendencia de sistema estructural comienza a desarrollarse e implementarse con éxito, ésta corresponde a los marcos arriostrados con diagonales de pandeo restringido (BRBF), las cuales permiten que las diagonales fluyan tanto en compresión como en tracción bajo una sollicitación severa. El objetivo principal es incorporar sistemas tipo “fusibles” que incurrieren en el rango inelástico para un sismo severo y que tengan como característica principal proveer ductilidad y amortiguamiento previniendo: el pandeo local, la inestabilidad en el elemento y la falla en la conexión. En resumen, esta ductilidad es lograda a través de una correcta configuración y diseño de estos dispositivos disipadores llamados BRB.

La principal ventaja de este dispositivo de disipación, es su balanceada curva histerética tanto en compresión como en tracción, dado que cuenta con un núcleo de acero (diagonal) rodeado por mortero y una camisa de acero que no se encuentran adheridas al núcleo de

acero, permitiéndole lograr gran ductilidad en su rango inelástico. Todas las ventajas mencionadas de los BRB serán evaluadas y comparadas en base a la estructura de análisis.

Por otro lado, la normativa vigente para el diseño estructural de instalaciones industriales – NCh2369:2003 - se encuentra en revisión y se ha promulgado un anteproyecto de norma, para marcos arriostrados de acero, donde las principales diferencias son abordadas en el Capítulo III MARCO TEÓRICO.

En términos generales en este estudio se realizará un diseño estructural con la normativa vigente, luego esta estructura se diseñará con la propuesta de norma y finalmente se realizará un diseño con BRB.

## **II.2 Objetivo del Estudio.**

El objetivo general del estudio es analizar el comportamiento de tres diseños basado en tres metodologías distintas. Los objetivos específicos del estudio son:

- Diseñar en base a la normativa vigente y a la propuesta de norma un edificio industrial del tipo marco arriostrado convencional definido, en base a un análisis dinámico lineal.
  
- Diseñar en base a la normativa vigente un edificio industrial del tipo marco arriostrado incorporando dispositivos BRB, en base a un análisis dinámico lineal.
  
- Verificar los diseños realizados considerando un análisis un tiempo historia no lineal con registros artificiales compatibles al espectro de demanda correspondiente a zona sísmica 3 y tipo de suelo II de la NCh2369, principalmente focalizándose en el comportamiento de las riostras verticales, y no las columnas, pero si realizará una verificación simplificada respecto a su incursión no lineal.
  
- Comparar los resultados del análisis dinámico lineal del espectro de la NCh2369:2003 con los resultados del análisis dinámico no lineal a partir de espectros sintéticos.

- Comparar los diseños obtenidos desde un punto de vista técnico, con el fin de verificar la aplicabilidad y las ventajas reales del diseño de cada uno de los sistemas estructurales analizados para la norma vigente de diseño y para la propuesta de norma.

### **II.3 Alcance del Estudio.**

Este estudio considera el diseño estructural de una estructura de acero tipo, analizada en base a los 4 casos siguientes:

#### **Caso 1:**

- Solicitación Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.
- Análisis Modal Espectral.
- Diseño según Norma Chilena NCh2369:2003.
- Marco arriostrado convencional.

#### **Caso 2:**

- Solicitación Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.
- Análisis Modal Espectral.
- Diseño según Anteproyecto de Norma Chilena NCh2369.
- Marco arriostrado convencional.

#### **Caso 3:**

- Solicitación Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.
- Análisis Modal Espectral.
- Diseño con BRBF y criterios propuestos.

#### **Caso 4:**

- Solicitación Registros Artificiales.
- Análisis No Lineal.
- Verificación de los 3 diseños anteriores.

El detalle de cada uno de los casos se aborda en el Capítulo IIV.

#### **II.4 Exclusiones.**

Está excluido del alcance del estudio un análisis predictivo del colapso, sólo se analizará el comportamiento de los tres diseños mencionados. Además, no es parte del alcance del estudio el diseño de: conexiones de acero, aceros misceláneos, pernos de anclaje ni diseño de hormigones. Este estudio está enfocado en el diseño y verificación del acero estructural del edificio de despacho de camiones. Tampoco es parte del alcance de este estudio el diseño de la correa transportadora que descarga sobre el edificio ni el diseño de las tolvas de acero de acopio de concentrado de cobre que se encuentran dentro del edificio.

#### **II.5 Antecedentes.**

Los antecedentes empleados para el desarrollo de este estudio corresponden a los siguientes documentos:

##### **Normativos.**

- Normativa NCh2369:2003.
- Anteproyecto de Norma NCh2369.

##### **Proyecto.**

- Plano de Elevación y Planta Estructura.
- Mecánica de Suelos del Sector.
- Plano Mecánico.

### **III MARCO TEÓRICO.**

En este capítulo se abordarán aspectos normativos nacionales, a través de una reseña histórica de la normativa sismorresistente, y se profundizará en los conceptos de estructuración, demanda sísmica, respuesta sísmica, diagonales de pandeo restringido (BRB), concluyendo con un resumen respecto al capítulo 8 del anteproyecto de norma de la NCh2369 del año 2017, en específico para las Estructuras de Acero – Marcos Arriostrados.

#### **III.1 Aspectos Normativos o Estado del Arte.**

Ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, Chile es uno de los países más sísmicos del mundo. La sismogénesis de Chile es propia de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, generando ondas de movimiento desde el epicentro a la superficie terrestre. Estas ondas a nivel de superficie generan aceleraciones horizontales y verticales, las cuales son registradas por los acelerógrafos.

En el año 2009 Chile contaba con 62 estaciones con acelerógrafos distribuidos entre Arica (I Región) y Valdivia (XIV Región), posterior al terremoto del año 2010 se destinan fondos para aumentar las estaciones a 297, proyecto que aún se encuentra en desarrollo.

Actualmente en Chile, el diseño sismorresistente de edificios de acero para uso industrial está regulado por la norma NCh2369:2003 “Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales”, cuyo contenido se basa en las buenas prácticas de los ingenieros estructurales a partir de la actividad sísmica, previa a la fecha de oficialización, particularmente los sismos de 9,5  $M_w$  Concepción-Valdivia 1960 y 8,0  $M_w$  Valparaíso 1985. Esta norma se origina debido a las diferencias entre los distintos requerimientos de uso y configuración entre estructuras industriales y las habitacionales.

La actividad industrial de cada país proporciona un importante ingreso a la economía local, por ende, su detención o paralización genera un impacto económico, por lo cual los diseños sismorresistentes deben estar orientados a reducir los tiempos de paralización y

deben estar focalizados en diseños fáciles de inspeccionar y reparar. Otro aspecto que no aborda la norma sismorresistente habitacional (NCh433) es la necesidad de normar el diseño sísmico de equipos, que por lo general son de origen extranjero propios de los procesos industriales.

Si bien existen estas diferencias entre ambas normas, el fundamento del diseño sismorresistente es el mismo, por ende, la norma NCh2369 es confeccionada como un complemento de la NCh433. En términos prácticos, las principales diferencias entre las normas NCh2369 y NCh433 es que las instalaciones industriales cuentan con masas concentradas con distribuciones irregulares, junto con las excentricidades y las irregulares rigideces de las estructuras que están enfocadas en el proceso industrial.

En el plano normativo internacional, existen discrepancias entre las filosofías de diseño sismorresistentes en la normativa chilena y estadounidense. Al comparar las filosofías de diseño, la norma NCh2369:2003 está orientada a diseños con elevada resistencia lateral y bajos requerimientos de comportamiento sísmico, lo que implica en términos prácticos que se limita las incursiones inelásticas en caso de sismos severos, en cambio, la filosofía estadounidense está orientada a diseños con una menor resistencia sísmica con el objetivo de desarrollar mayores niveles de ductilidad frente a un evento sísmico severo.

Posterior al terremoto del 27 de febrero del 2010 cuyo epicentro fue la Región del Maule, se forma un comité para revisar la normativa sismorresistente vigente, y en el año 2011 se oficializan los Decretos 60 y 61, que complementan la norma NCh433, corrigiendo falencias de diseño observadas en edificios habitacionales postsismo. En el ámbito industrial la norma no entra en discusión dado que no se observaron grandes daños.

En el año 2014 se forma un comité y comienza el proceso de revisión de la norma NCh2369 con el fin de incorporar las buenas prácticas ingenieriles a partir de experiencias de los terremotos recientes, junto con desarrollar capítulos de obras no abarcadas por la actual normativa vigente, como es el caso de infraestructura portuaria.

El anteproyecto de actualización de la norma NCh2369 tiene como objetivo principal restringir el daño en columnas, junto con entregar lineamientos de diseño para infraestructura industrial no cubierta por la norma NCh2369:2003.

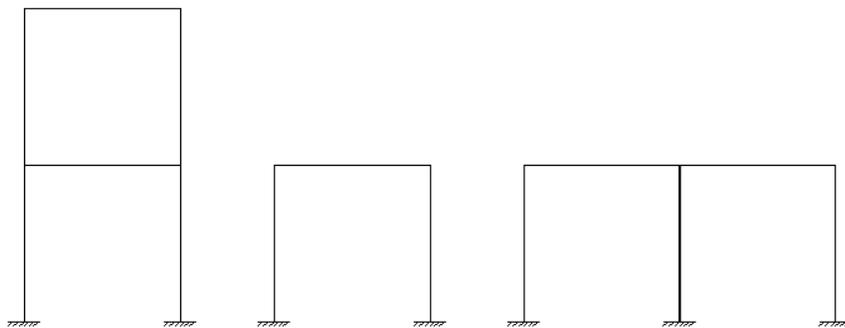
### **III.2 Estructuración.**

Uno de los aspectos claves en el diseño es la estructuración, dado que la configuración seleccionada incide directamente en como la estructura se comporta frente a la demanda.

Respeto a la norma NCh2369, ésta entrega principalmente directrices para el diseño de estructuras de acero de dos tipos de sistemas estructurales, marcos rígidos (MRF) y marcos arriostrados (MAC). Por otro lado, dentro de los marcos arriostrados se dividen en marcos arriostrado concéntricos (CBF) y marcos arriostrado excéntricos (EBF). A continuación, se presenta una descripción más detallada de cada uno de ellos.

#### **Marco Rígido (MRF).**

Los marcos rígidos son sistemas estructurales con nudos rígidos que resisten las fuerzas laterales solicitantes principalmente por flexión. Estos marcos son relativamente flexibles en comparación con los arriostrados, por ende, las fuerzas sísmicas son relativamente bajas.



*Figura III.1: Configuración de marcos rígidos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Marco Arriostrado Concéntrico (CBF).**

Este tipo de marco presenta miembros solicitados principalmente a fuerzas axiales. Una de las grandes ventajas de este tipo de marco son las económicas, dado que se requiere una menor cantidad de acero en comparación con los marcos a momento. Bajo un escenario “*ceteris paribus*” para una misma cantidad de acero, la configuración marco arriostrado permite alcanzar una mayor resistencia y rigidez en comparación a un marco rígido.

Los arriostramientos son los elementos que se encargan de transferir a los apoyos las solicitaciones sísmicas a través de fuerzas tracción y compresión. Este tipo de configuración generalmente está controlada por el pandeo por compresión de las diagonales. Este tipo de marco es considerado más rígido, más resistente, pero menos dúctil que los marcos a momento. En la Figura III.2 se presentan distintas configuraciones de sistemas arriostrados concéntricos.

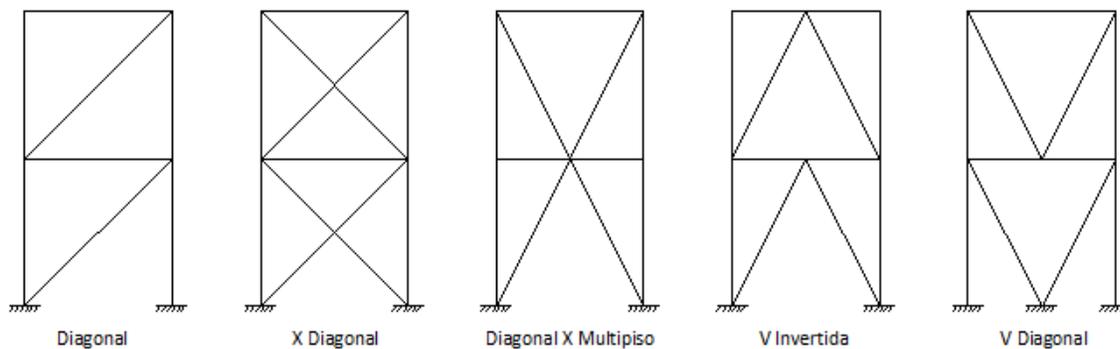


Figura III.2: Configuración de sistemas CBF.

Fuente: Elaboración propia

La configuración en cruz es una de las más utilizadas en los diseños en Chile, debido a que entrega una distribución en tensión y compresión en los arriostramientos, por otro

lado, la longitud de pandeo es la mitad del largo del arriostramiento debido a que las diagonales están unidas en la intersección<sup>1</sup>, tal como se observa en la Figura III.3.

Los diseños con arriostramiento en un solo sentido no presentan un buen comportamiento sísmico al trabajar desbalanceado frente a un sismo en dos direcciones, debido a que cuentan con una mayor resistencia a tracción que a compresión, por ende, este diseño no es una práctica habitual en la estructuración en Chile.

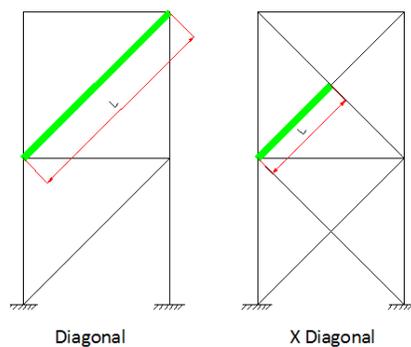


Figura III.3: Longitud de pandeo.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, las diagonales V o V invertida son menos utilizadas en Chile debido a que su diseño requiere considerar el peso propio y carga viva presentes en los arriostramientos, lo que hace un diseño requiera de un mayor análisis, pero es común utilizarlas cuando existe una restricción de espacios libres entre columnas.

### **Marco Arriostrado Excéntrico (EBF).**

Otro tipo de sistema estructural de arriostramiento son los excéntricos, estos sistemas proveen mecanismos de disipación de energía sísmica, siendo otra forma efectiva de

---

<sup>1</sup> EL-Tayem, A.A and S.C.Goel, “Effective Length Factor for the Design of X-Bracing System” AISC Engineering Journal (1<sup>st</sup> Quarter 1986) pp. 41-45.

estructuración de marcos arriostrados. Se caracterizan por presentar sólo un extremo de cada diagonal de arriostamiento en la unión viga-columna y/o centro de la viga. Esta configuración puede combinar la resistencia y rigidez de los marcos arriostrados concéntricos con la buena ductilidad de los marcos a momento. Las configuraciones más empleadas son las que se presentan en la Figura III.4.

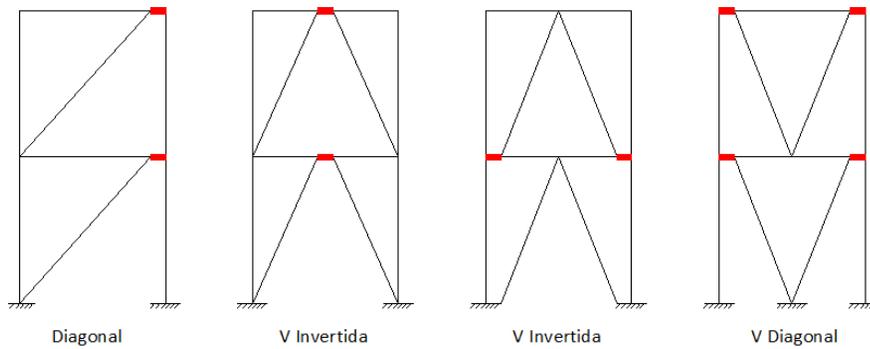


Figura III.4: Marcos arriostrados excéntricos (EBF).

Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de diseño no es una práctica habitual en Chile dado que la NCh2369:2003 no cuenta con una filosofía de alta capacidad de disipación de energía, por ende, ésta norma no entrega lineamientos específicos para este tipo de estructuración.

### **Marcos Arriostrados con BRB (BRBF).**

Los dispositivos de arriostamiento de pandeo restringido son sistemas de disipación de energía, en el cual, el acero fluye en compresión y/o tracción. Sus orígenes se remontan a la década de los 80's, con los trabajos realizados en Japón por Watanabe en 1988, mientras que, por primera vez se implementó en Estados Unidos en los comienzos del año 2000. En el año 2004, estos dispositivos fueron perfeccionados por Wada y Nakahima.

En el año 2002, Black y Sabelli implementaron estos dispositivos en estructuras en diversos países del mundo, mientras que Tremblay logró implementarlo en el año 2006 y Palazzo en el año 2009.

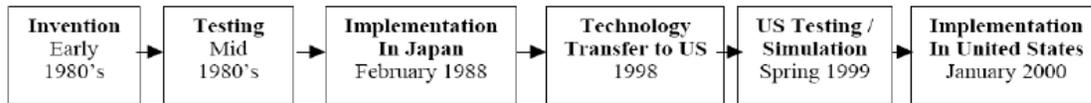


Figura III.5: Antecedentes históricos BRB.

Fuente: W. DEULKAR [10].

Actualmente, este dispositivo no se encuentra normado en la NCh2369, pero si ha sido incluido en las especificaciones americanas ANSI&AISC 341-10, como el sistema estructural BRBF o más bien Buckling Restrained Braced Frames.



(a) Buckled out poor nonlinear behavior of conventional braces



(b) Unbuckled excellent nonlinear behavior of BRB [after Read Jones Chrostoffersen]

Figura III.6: Ensayos de diagonal convencional y de BRB.

Fuente: W. DEULKAR [10].

En la Figura III.6 se observa un ensayo de laboratorio de un sistema arriostrado concéntrico convencional y otro con BRB. Tal como se menciona anteriormente el sistema arriostrado concéntrico presenta una falla por pandeo en compresión, mientras que la camisa de acero y el grout le permiten al BRB a lograr mayores resistencias a compresión. En la Figura III.7 se observa un edificio con los BRB instalados.



Figura III.7: Edificio con diagonales de pandeo restringido.

Fuente: F. CRISAFULLI [8].

Tal como se observa en la Figura III.8 el BRB está compuesto por un núcleo central de acero recubierto por una capa o camisa deslizante o antiadherente, lo cual es rellenada con un mortero de cemento o grout, logrando así que el núcleo de acero fluya tanto en tracción como en compresión, dado que el tubo exterior y el mortero de relleno evitan el pandeo global y local del núcleo. Generalmente, el núcleo tiene una sección transversal en forma de cruz o plano.

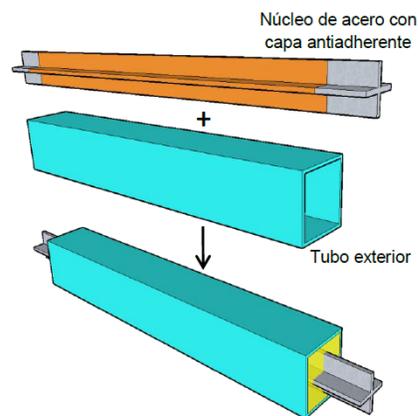


Figura III.8: Detalle BRB.

Fuente: F. CRISAFULLI [8].

Las principales ventajas de las riostras de pandeo restringido frente a las convencionales son lograr un comportamiento estable y sin reducción de área de los ciclos de histéresis por problemas de pandeo, tal como se observa en las Figura III.9 y Figura III.10.

Las curvas histéricas presentadas a continuación son los resultados del estudio realizado por A. Christopulos en el año 2005 de la Universidad de Washington para marcos arriostrados concéntrico (CBF) con una diagonal, CBF con diagonales en X y marcos arriostrados con un BRB.

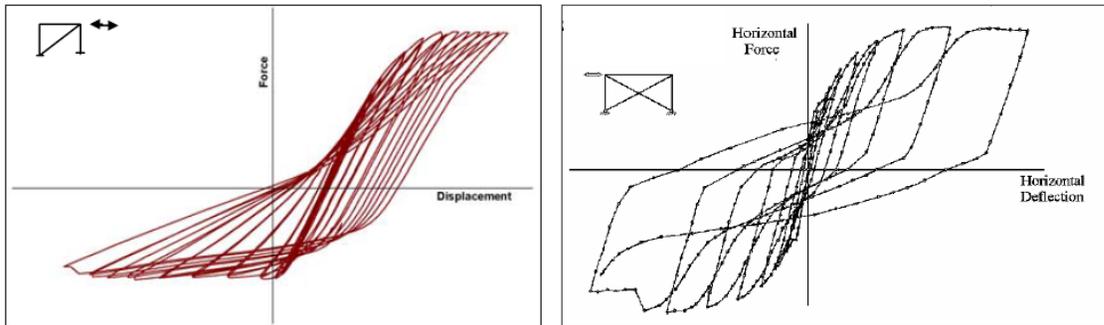


Figura III.9: Marcos Arriostrados.

Fuente: A. CHRISTOPULOS [6].

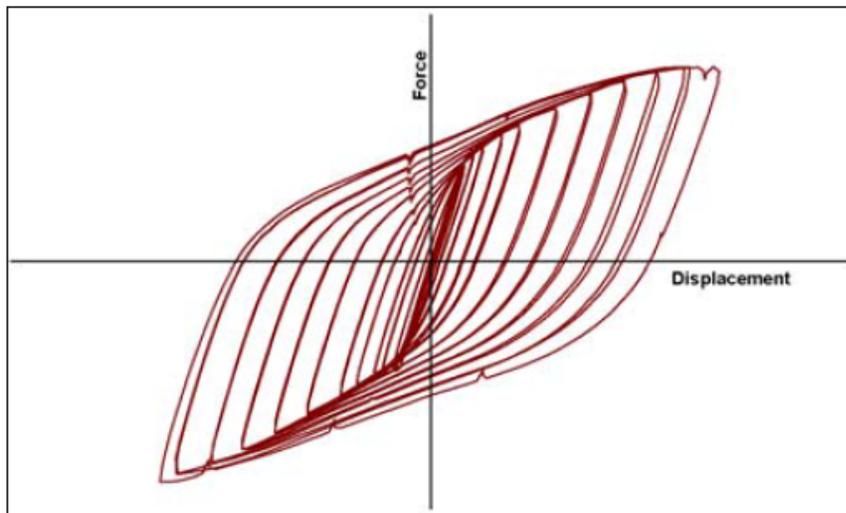


Figura III.10: Curva de Histéresis MAC con 1 BRB.

Fuente: A. CHRISTOPULOS [6].

En la Figura III.9, se observa un sistema con una sola diagonal que genera una respuesta desbalanceada de las diagonales pandeadas y su asimétrico comportamiento histerético, en cambio, el otro sistema en cruz presenta un comportamiento histerético más simétrico, dado que cuando una diagonal este en tensión, la contraria toma la carga en compresión, generando una curva con más simetría.

Tal como se observa en la Figura III.10, la curva histerética del sistema con BRB disipa más energía, en comparación con las tres configuraciones analizadas, además no se observa una pérdida de resistencia en cada ciclo de carga. Las diagonales pandeadas de los CBF sufren un importante deterioro de resistencia debido a la deformación inelástica post pandeo.

Los sistemas estructurales en zonas de alta demanda sísmica requieren de sistemas resistentes lateralmente. Las estructuras deben tener una adecuada resistencia y rigidez para resistir pequeños y frecuentes terremotos con un daño limitado o nulo, pero a su vez, deben ser capaces de resistir grandes ciclos de deformación inelástica para asegurar vidas. Este comportamiento inelástico provee significativa disipación de energía que permiten disminuir la respuesta de la estructura.

Actualmente hay diversos sistemas estructurales utilizados para lograr disipación de energía y comportamiento inelástico. Los más frecuentes en los sistemas de acero son: marcos resistentes a momento (MRF) y los marcos arriostrados concéntricos (CBF), mencionados en el Capítulo III.2.

Los MRF son estructuras flexibles que inicialmente desarrollan sus deformaciones inelásticas a través de las vigas flexibles y las zonas de fluencia de panel. Los CBF son marcos más rígidos, fuertes y sistemas estructurales más económicos, con una respuesta lateral inelástica dominada por la deformación inelástica de las diagonales. En ambos sistemas, la respuesta inelástica de los miembros de la estructura proporciona grandes fuerzas y demandas de deformación a las conexiones y las restantes al sistema estructural.

Los sistemas BRBF son sistemas estructurales resistentes lateralmente relativamente nuevos en la ingeniería estructural, desarrollados para resistir las impredecibles cargas sísmicas con una forma predecible. Estos dispositivos presentan una mayor ductilidad que los marcos arriostrados concéntricos (CBF), esta ductilidad se obtiene a través de la fluencia en compresión y tracción del elemento, y lo balanceado de la curva histerética frente a una gran sollicitación sísmica, generando una gran disipación de energía, tal como se observa en la Figura III.9 y Figura III.10.

Los BRBF (Buckling Restrained Braced Frames) o más bien los marcos con diagonales de pandeo restringido, son dispositivos cuyo comportamiento depende de la sollicitación de desplazamiento sísmico, y que son capaces de disipar significativamente energía cuando son sometidos a ciclos de carga. Por lo tanto, las cargas sísmicas en los marcos arriostrados pueden ser reducidas considerablemente empleando elementos BRB como parte del sistema de diagonales. El procedimiento de diseño de los BRB ha sido estandarizado en los Estados Unidos y Japón, pero aún no ha sido estandarizado en Chile.

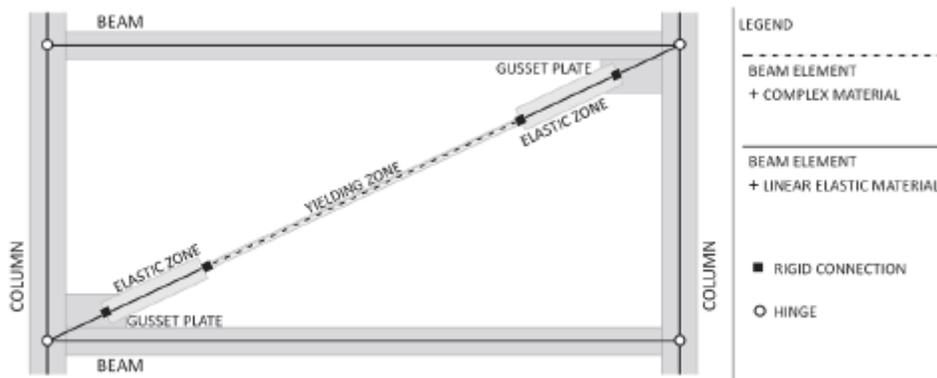


Figura III.11: Representación de los BRB.

Fuente: Á. ZSARNÓCSAY [21].

De acuerdo a los estudios realizados, los sistemas con BRB requieren de menor acero en comparación con los sistemas arriostrados convencionales dado que logran una mayor resistencia con una menor cantidad de acero. Por otro lado, el incremento de capacidad de compresión de los sistemas con BRB permite diseños de fundaciones más simples y

livianas en requerimientos de conexiones, de acuerdo, a los estudios realizados por S. WIJANO [20]. Este punto será estudiado en este trabajo, dado que se presume que, si bien existe una menor cuantía de acero en las diagonales, las columnas ven incrementado su peso dado que deben resistir la compresión generada por la fluencia de los BRB.

La estructuración típica de estos dispositivos es la que se indica en la Figura III.12.

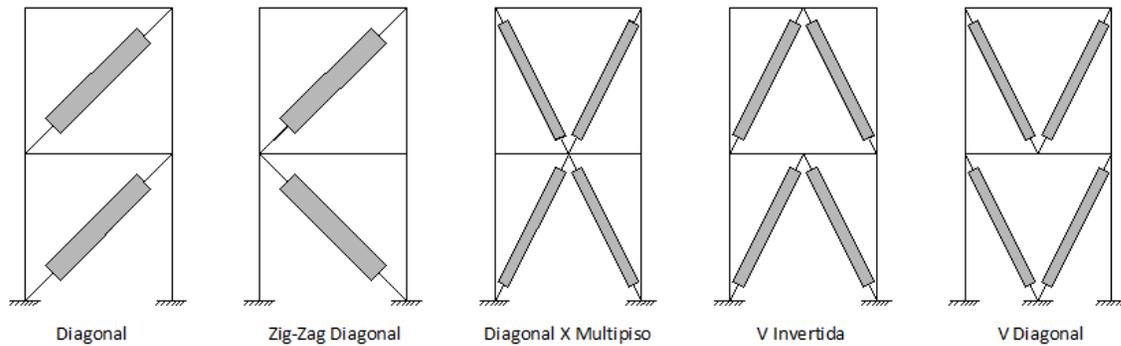


Figura III.12: Configuraciones de BRBF.

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se mencionó en los párrafos anteriores, la NCh2369 no cubre los marcos arriostrados con diagonales de pandeo restringido (BRB), pero si son cubiertas por la normativa estadounidense AISC341.

Dentro de este trabajo se realizará un diseño considerando las recomendaciones de la AISC341 junto con las restricciones de la NCh2369, y se comparará el desempeño de esta estructura con diseños convencionales de marcos arriostrados en cruz.

### III.3 Demanda Sísmica.

En el diseño sismorresistente la estructura se diseña de modo que resista los valores máximos o probables de los parámetros del movimiento, que son estimados mediante estudios de peligrosidad o riesgo sísmico.

De acuerdo a lo definido en la NCh2369, la demanda sísmica estándar considera una vida útil de 50 años con una probabilidad de excedencia de un 10%, tal como se indica en C.4.2 de la NCh2369. A continuación, se demuestra simplificadaamente que el periodo de retorno asociado a la vida útil y la probabilidad de excedencia definida, equivale a diseño con un periodo de retorno promedio de un sismo 500 años.

Definición de Parámetros:

Y: Intensidad en términos de aceleración (a), velocidad (v) y desplazamiento (d) máximos del suelo del sitio donde se emplaza la estructura a nivel de superficie.

v: Tasa de ocurrencia de la distribución de Poisson.

T<sub>1</sub>: Vida útil de la estructura, representada por una distribución de Poisson.

$$P(Y_{max} > Y_{diseño}/50 \text{ años}) = 0,1$$

$$P(T_1 \leq 50) = 0,1 = 1 - e^{-vt}$$

$$e^{-vt} = 0,9$$

$$-vt = \ln(0,9) = -0,10536$$

$$v = \frac{0,10536}{50} = 0,002107$$

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{v} = 475 \text{ años}$$

Donde  $\bar{T}_1$  es el periodo de retorno medio del terremoto de diseño.

Para el diseño de estructura de alta importancia como centrales nucleares, represas, entre otras, donde cualquier falla estructural pudiera tener consecuencias muy graves para la instalación y localidades cercanas, es normal efectuar diseños para periodos de retorno entre 1.000 - 2.500 años.

Es importante tener en cuenta que a medida que se aumenta el periodo de retorno los valores de los parámetros asociados al sismo son más altos, por ende, la probabilidad de superarlo es más pequeña y el nivel de riesgo asumido es menor, generando diseños más robustos o con mayor redundancia, lo que aumenta los costos de construcción.

Para fines de diseño sísmico, se requiere introducir parámetros que caractericen la demanda sísmica en los cálculos dinámicos de la estructura, y así obtener una respuesta asociada a la demanda. Uno de los parámetros empleados en la NCh2369 es la aceleración efectiva máxima ( $A_0$ ). Sin embargo, esta amplitud máxima no es el único dato determinante de la respuesta de la estructura, de hecho, la propiedad dinámica que la define es su frecuencia natural. Cuando ésta coincide con la frecuencia predominante del movimiento se produce acoplamiento y la energía se amplifica pudiendo causar mayor daño. Para ello las estructuras rígidas, de bajo periodo propio, es conveniente revisar el efecto de señales que concentran la mayor parte de la energía este en el rango de altas frecuencias.

A continuación, se mencionarán las metodologías que recomienda la NCh2369 para estimar la respuesta de la estructura.

### III.4 Respuesta Sísmica.

Dentro del análisis sísmico existen distintas metodologías para estudiar la respuesta sísmica de las estructuras. Los métodos más tradicionales son los métodos lineales y no lineales. Los métodos lineales se subdividen en dos: análisis elástico estático y análisis elástico dinámico (tiempo historia y análisis modal espectral). Por otro lado, los métodos no lineales se subdividen en: análisis inelástico estático (Pushover) y análisis inelástico dinámico (tiempo-historia).

#### Ecuación de Movimiento.

La respuesta estructural está caracterizada por la ecuación de movimiento que se observa a continuación.

$$[M] \cdot [\ddot{u}] + [C] \cdot [\dot{u}] + [K] \cdot [u] + [L^T_d] \cdot f(v, \dot{v}, z) = -[M] \cdot r \cdot [x_g]$$

Donde:

$[M]$ : Matriz de masas del sistema.

$[C]$ : Matriz de amortiguamiento del sistema.

$[K]$ : Matriz de rigidez del sistema.

$[u]$ : Vector asociado a la respuesta en los grados de libertad de la estructura por piso.

$f(v, \dot{v}, z)$ : Función que incorpora el comportamiento no lineal de los elementos de la estructura.

$[L^T_d]$ : Matriz de conversión cinemática de los grados de libertad asociado a los elementos que tienen miembros con comportamiento no lineal.

$[x_g]$ : Vector de excitación del suelo.

$r$ : Vector de incidencia de la excitación.

## Análisis Modal Espectral.

El análisis modal espectral es una metodología que permite resolver en forma aproximada la respuesta de un sistema estructural. Este método se basa en obtener las respuestas máximas de cada uno de los modos, luego éstos son combinados y obteniendo el valor de la respuesta.

La forma más tradicional de representación del movimiento para fines de diseño es por medio de espectros de respuesta, que entregan la respuesta máxima de un oscilador de un grado de libertad con cierto amortiguamiento, ante una excitación sísmica, en función de la frecuencia propia del oscilador. Dicha respuesta puede expresarse en términos de aceleración ( $S_a$ : pseudo espectro de aceleración), velocidad ( $S_v$ : pseudo espectro de velocidad) o desplazamiento ( $S_d$ : pseudo espectro de desplazamiento) para distintas frecuencias del movimiento.

Como primer paso, se realiza un análisis modal de la estructura determinando los periodos fundamentales y la masa sísmica, luego se desarrolla el análisis elástico dinámico para el diseño de la estructura en base a los resultados de las combinaciones de carga.

En general, los espectros de diseño propuestos por normativas internacionales son formas espectrales suavizadas, medias o envolventes, construidas con tramos rectos (en escala logarítmica) que aproximan espectro de respuesta reales de la zona de aplicación, en cambio el propuesto en la NCh2369 proviene de ajustes respecto a registros medidos.

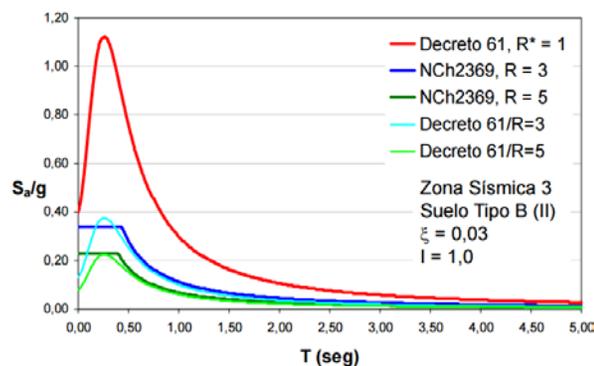


Figura III.13: Espectros de diseño.

Dentro de los métodos más utilizados para realizar las combinaciones modales destacan los métodos SRSS y CQC, los que se detallan a continuación.

SRSS – Square Root of the Sum of the Squares.

Método formulado en el año 1950 por E. Rosenblueth, éste es un método que usualmente se utilizaba para estimar la respuesta sísmica. Una de las desventajas de este procedimiento es que presenta resultados erróneos cuando la respuesta está afectada por el dominio de altas frecuencias, además puede sobre o sub estimar la máxima respuesta cuando dos frecuencias modales se encuentran muy cercanas (menor a 10%). El dato de entrada de este procedimiento es la pseudo aceleración y/o pseudo velocidad espectral.

$$\lambda = \sqrt{\sum_{k=1}^r (\lambda_k)^2}$$

Donde  $\lambda$  es el peak de la respuesta.

CQC – Complete Quadratic Combination.

Este método es el más utilizado dado que considera la interacción entre las distintas formas modales cercanas.

$$\lambda = \sqrt{\sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^r \lambda_i \rho_{ij} \lambda_j}$$
$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2(1 + \beta_{in})\beta_{in}^{3/2}}{(1 - \beta_{in}^2)^2 + 4\xi^2\beta_{in}(1 + \beta_{in})^2}$$

Donde:

- r : Número de modos considerados.
- $\lambda_i$ : Respuesta del modo i.
- $\lambda_j$ : Respuesta del modo j.
- $\rho_{ij}$ : Coeficiente de correlación entre los modos i y j.
- $\xi$ : Coeficientes de amortiguamiento modal.
- $\beta_{in}$ : Razón de frecuencias naturales de los modos i y n.

### **Análisis Tiempo Historia.**

Este tipo de metodología es utilizada cuando se dispone de una batería de registros de aceleración corregidos ( $\ddot{u}_g(t)$ ) representativos de la zona de estudio.

Para un sistema de 1 grado de libertad la respuesta de desplazamiento ( $u(t)$ ) solo depende del periodo natural de vibración y de su razón de amortiguamiento.

Para un sistema de multigrados de libertad se requiere la resolución matemática paso a paso de la ecuación de movimiento. Existen distintas metodologías para la resolución numérica de la ecuación de movimiento, dentro las que destacan:

- Superposición Modal.
- Método de diferencias centradas.
- Método de Newmark.
- Método de Runge – Kutta.
- Método de Espacio Estado (SSP).

Para efectos del análisis no lineal se definen las propiedades constitutivas de los elementos a modo de caracterizar su comportamiento en tracción y compresión.

### III.5 Anteproyecto de Norma – Actualización NCh2369.

En este capítulo se realiza una breve descripción de las modificaciones del capítulo 8 de la norma NCh2369 referida a los marcos arriostrados. El anteproyecto de norma es el resultado de 53 reuniones que se llevaron a cabo a partir del 10 de septiembre del año 2014 y que fue consolidado el año 2017. A continuación, se mencionan las indicaciones del anteproyecto.

8.6.1 *No se permiten sistemas de arriostramientos con elementos que solo resisten tracción, excepto en los casos de naves de acero livianas que se rigen por las disposiciones de 11.2.*

8.6.2 *En una línea resistente cualquiera, para cada nivel, la resistencia proporcionada por las diagonales traccionadas, para cada sentido de la acción sísmica, debe ser como mínimo 30% del esfuerzo de corte total en esa línea.*

8.6.3 *Los elementos sismorresistentes de planos verticales que trabajen en compresión, deben tener razones ancho/espesor, menores que el valor  $\lambda_r$  establecido en la Tabla 8.1. La esbeltez global de estos elementos debe ser menor que  $1,5\pi \sqrt{E/F_y}$ .*

8.6.4 *Las diagonales en X se deben conectar en el punto de cruce. Dicho punto se podrá considerar fijo en la dirección perpendicular al plano de las diagonales para los efectos de determinar la longitud de pandeo de la pieza comprimida cuando la otra diagonal este traccionada y una de las diagonales sea continua en el cruce.*

8.6.5 *No se permite disponer arriostramientos sísmicos en K, en que las diagonales se intersectan en un punto intermedio de la columna.*

8.6.6 *En configuraciones con arriostramientos en V o V invertida, la viga debe ser continua en la conexión con las diagonales y se debe diseñar considerando que las diagonales no constituyen un apoyo vertical para cargas gravitacionales.*

*El efecto sísmico en la viga se debe determinar por equilibrio considerando que la diagonal comprimida presenta su capacidad residual y la diagonal traccionada presenta su capacidad esperada. La tracción en la diagonal no necesita ser mayor que aquella determinada utilizando las combinaciones de carga definidas en la sección 4.5, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por  $0,7 R_1 \geq 2,0$ , o que la máxima carga que el sistema puede transferir a la viga.*

*La separación entre los puntos de trabajo de las diagonales, medida en el eje de la viga, debe ser menor o igual a 2 veces la altura de la viga. En el modelo de análisis debe ser consistente con esta configuración.*

*La viga se debe diseñar para resistir una carga transversal (dirección fuera del plano de las diagonales) ubicadas en el punto de unión con la diagonal comprimida, igual al 2% de la capacidad esperada en compresión de dicha diagonal.*

*La conexión que una la viga a la columna debe ser diseñada para resistir simultáneamente los esfuerzos generados por la condición que controle el diseño de la viga.*

*8.6.7 Las vigas o puntales horizontales que unen los extremos de las diagonales se deben diseñar suponiendo que las diagonales comprimidas presentan su capacidad residual y que las diagonales traccionadas presentan su capacidad esperada. La tracción en las diagonales no necesita ser mayor que aquellas determinadas utilizando las combinaciones de carga definidas en la sección 4.5, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por  $0,7R_1 \geq 2,0$ , o que la máxima carga que el sistema puede transferir al puntal.*

*8.6.8 Las conexiones de puntales y diagonales sísmicos se deben diseñar para resistir tanto la capacidad esperada en tracción como la capacidad esperada en compresión del elemento.*

*La resistencia requerida en la conexión no necesita ser mayor que aquella determinada utilizando las combinaciones de cargas definidas en la sección 4.5, en las cuales el estado de carga sísmico ha sido amplificado por  $0,7R_i \geq 2,0$ , o que la máxima carga que el sistema puede transferir a la conexión.*

*8.6.9 Las diagonales sismorresistentes de marcos arriostrados deben presentar conexiones en sus extremos diseñadas para soportar los momentos flexurales o las rotaciones generadas por el pandeo de los elementos. Para ello, deben cumplir una de las siguientes disposiciones:*

*a) Resistencia flexural: La conexión debe ser diseñada para resistir la capacidad esperada flexural del elemento (flexión consistente con la dirección de pandeo de la diagonal).*

*b) Capacidad de rotación: La geometría del gusset de conexión debe definirse de forma que este sea capaz de resistir y acomodar los giros plásticos derivados del pandeo de la diagonal sin presentar fallas (rotación consistente con la dirección del pandeo de la diagonal).*

Tal como se observa, gran parte de las modificaciones apuntan al detallamiento de las conexiones más que en los elementos.

## IV DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL DE LOS CASOS DE ESTUDIO.

### IV.1 Caso 1: Diseño NCh2369:2003.

#### IV.1.1 Solicitud Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.

De acuerdo a lo indicado por la normativa chilena el espectro se define por:

$$S_a = \frac{2,75 A_o I}{R} \left( \frac{T'}{T} \right)^n \left( \frac{0,05}{\xi} \right)^{0,4}$$

Donde:

T : Período de vibración del modo considerado.

T' y n: Parámetros que dependen del tipo de suelo. Tabla 5.4 NCh2369.

A<sub>o</sub>: Aceleración efectiva máxima.

I : Coeficiente de importancia. 4.3.2 NCh2369.

R : Valor máximo del factor de modificación de respuesta. Tabla 5.6 NCh2369.

ξ : Razón de amortiguamiento. Tabla 5.5 NCh2369.

Las referencias mencionadas son las siguientes:

Zona sísmica	A <sub>o</sub>
1	0,2 g
2	0,3 g
3	0,4 g

Tabla IV.1: Valor de la aceleración efectiva máxima A<sub>o</sub>.

Fuente: Tabla 5.2 NCh2369.

Tipo de Suelo	T' (s)	n
I	0,2	1,00
II	0,35	1,33
III	0,62	1,80
IV	1,35	1,80

Tabla IV.2: Parámetros que dependen del tipo de suelo.

Fuente: Tabla 5.4 NCh2369.

<b>Sistema resistente</b>	$\xi$
Marcos de acero soldados con o sin arriostramientos	0,02
Marcos de acero con uniones de terreno apernadas, con o sin arriostramiento	0,03

Tabla IV.3: Razón de Amortiguamiento.

Fuente: Tabla 5.5 NCh2369.

<b>Sistema resistente – Estructuras de Acero</b>	<b>R</b>
3.1 Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales dilatados.	5
3.2 Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales no dilatados e incorporados en el modelo estructural.	3
3.3 Edificios y estructuras de marcos arriostrados, con anclajes dúctiles.	5
3.4 Edificios industriales de un piso, con o sin puente grúa, y con arriostramiento continuo de techo.	5
3.5 Edificios industriales de un piso, sin puente-grúa, sin arriostramiento continuo de techo, que satisfacen 11.1.2.	3
3.6 Naves de acero livianas que satisfacen las condiciones de 11.2.1.	4
3.7 Estructuras de péndulo invertido.	3
3.8 Estructuras sísmicas isoestáticas.	3
3.9 Estructuras de plancha o manto de acero, cuyo comportamiento sísmico está controlado por el fenómeno de pandeo local.	3

Tabla IV.4: Valores máximos del factor de modificación de la respuesta.

Fuente: Tabla 5.6 NCh2369.

#### **IV.1.2 Análisis Modal Espectral.**

Se empleará la metodología de superposición modal espectral CQC.

### IV.1.3 Diseño según Norma Chilena NCh2369:2003.

De acuerdo a las disposiciones de la NCh2369 para marcos arriostrados se considera:

- *No se permiten diagonales que solo trabajen a tracción (punto 8.3.1).*
- *En una línea resistente cualquiera debe existir diagonales que trabajan en tracción y compresión. La resistencia proporcionada para las diagonales traccionadas, para cada sentido de la acción sísmica, debe ser como mínimo un 30% del esfuerzo de corte de la línea resistente en el nivel correspondiente (punto 8.3.2).*
- *Los elementos de sistemas sismorresistentes verticales que trabajen en compresión, deben tener relaciones ancho/espesor menor que  $\lambda_r$  según tabla 8.1. La esbeltez global del elemento debe ser menor que (punto 8.3.3):*

$$\lambda_r \leq 1,5\pi \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

*Donde:*

*E: Módulo de Young del acero.*

*F<sub>y</sub>: Fluencia nominal del acero.*

*Las diagonales en X deben conectar en el punto de cruce. Dicho punto se podrá considerar como fijo en la dirección perpendicular al plano de las diagonales para los efectos de determinar la longitud de pandeo de la pieza (en ambos ejes), cuando una diagonal sea continua (punto 8.3.4).*

- *El esfuerzo sísmico en las diagonales comprimidas, debe ser menor o igual al 80% de la capacidad resistente definida en las especificaciones de diseño de acero (combinaciones con cargas eventuales sísmicas, punto 8.3.6).*

- Las disposiciones 8.3.3, 8.3.5 y 8.3.6 no se aplican a arriostramientos cuyos esfuerzos provenientes de las cargas sísmicas mayoradas sean inferiores a un tercio de los esfuerzos de la combinación que controla el dimensionamiento (punto 8.3.8).

De acuerdo a lo indicado en la norma respecto a los marcos arriostrados concéntricos los parámetros de diseño son los siguientes:

Zona Sísmica:	III.
$A_0$ :	0,4 g.
Razón de Amortiguamiento:	$\xi = 0,03$ .
Tipo de Suelo:	II ( $T^* = 0,35$ s $n = 1,33$ ).
Factor de Importancia:	$I = 1,2$ ( $C_1$ ).
Factor de modificación de respuesta:	$R = 5$ .

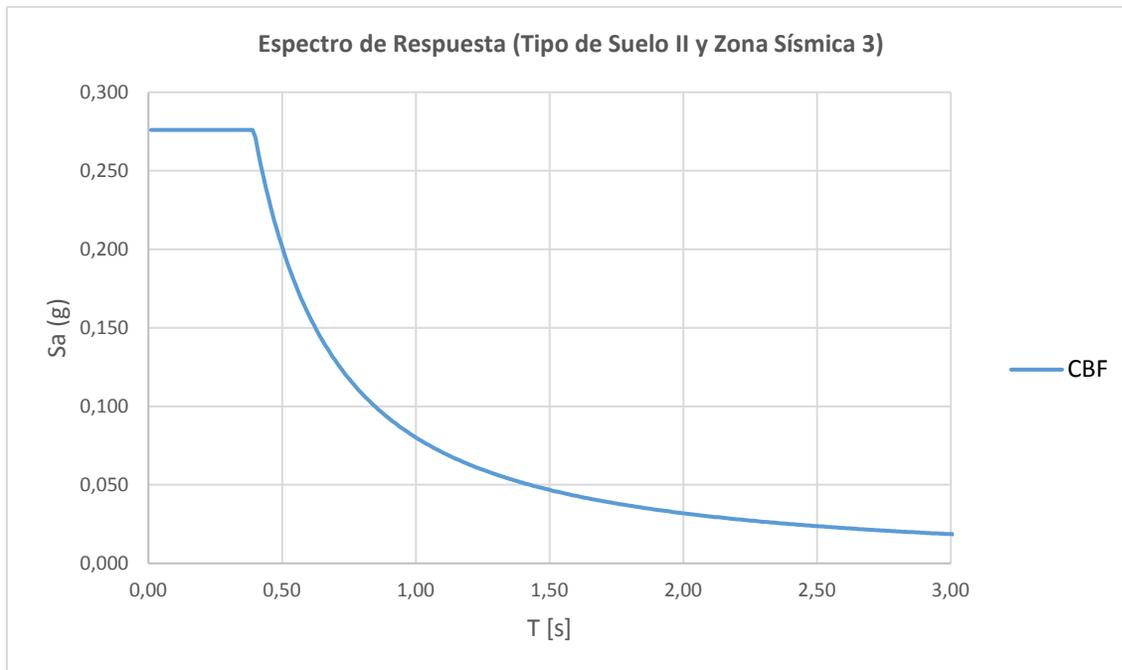


Gráfico IV.1: Espectro Caso 1.

Fuente: Elaboración Propia.

## **IV.2 Caso 2:**

### **IV.2.1 Solicitación Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.**

Mismo procedimiento que el indicado en el IV.1.1.

### **IV.2.2 Análisis Modal Espectral.**

Mismo procedimiento que el indicado en el IV.1.2.

### **IV.2.3 Diseño según Propuesta a Norma Chilena NCh2369.**

Considerando lo indicado en el punto IV.1.3 y lo indicado en el Capítulo III.5 de anteproyecto de norma.

## **IV.3 Caso 3:**

### **IV.3.1 Solicitación Espectro Norma Chilena NCh2369:2003.**

Mismo procedimiento que el indicado en el IV.1.1 con las correcciones indicadas en el punto IV.3.3. A diferencia de los casos anteriores la razón de amortiguamiento a utilizar es de 5%, dado que este tipo de estructuración (BRBF) aumenta la razón de amortiguamiento en comparación con el CBF.

Zona Sísmica:	III.
$A_0$ :	0,4 g.
Razón de Amortiguamiento:	$\xi = 0,05$ .
Tipo de Suelo:	II ( $T^* = 0,35$ s $n = 1,33$ ).
Factor de Importancia:	$I = 1,2$ ( $C_1$ ).
Factor de modificación de respuesta:	$R = 5$ .

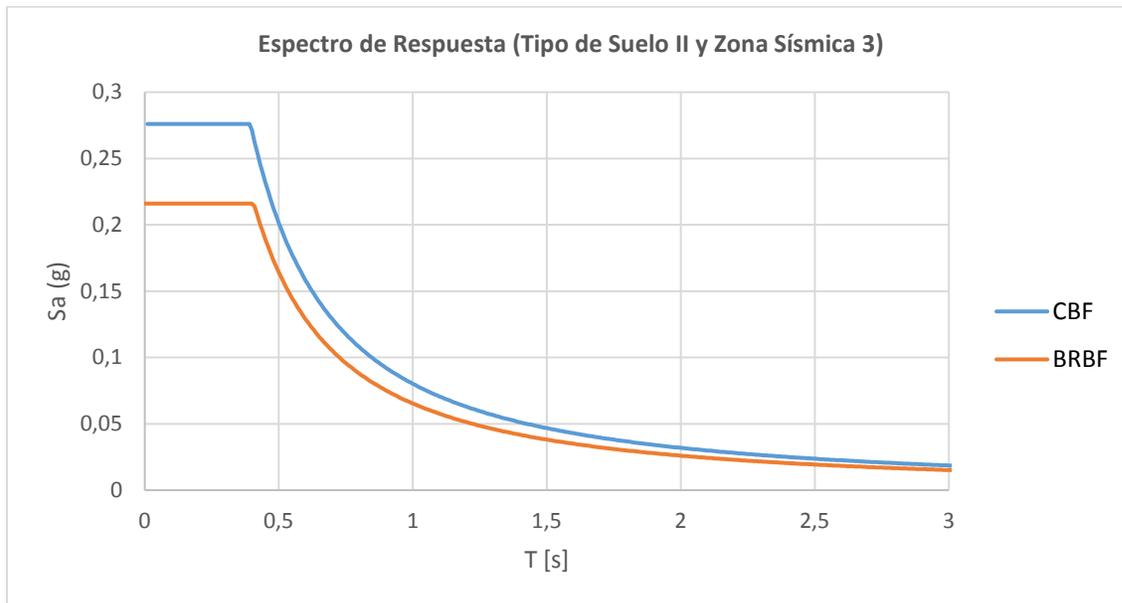


Gráfico IV.2: Espectro Caso 3 BRB.

### IV.3.2 Análisis Modal Espectral.

Mismo procedimiento que el indicado en el IV.1.2.

### IV.3.3 Diseño con BRBF.

Para el diseño incluyendo BRB, dado que no está presente dentro de la normativa nacional, se considera la siguiente metodología:

- Establecer una demanda sísmica a partir de un análisis modal espectral considerando  $R = 5$  y  $\xi = 5\%$ .
- Se realizan diseños iterando las diagonales y columnas hasta lograr que las diagonales tengan un FU cercano a 1. Los perfiles seleccionados para las diagonales no son relevantes dado que se utilizará el área para dimensionar el BRB. Con el fin de evitar fallas locales, se selecciona un perfil cajón o tubular.
- Se dimensiona la sección del núcleo de acero del BRB considerando las fuerzas reducidas LRFD:

$$P_u = 0,9 \cdot A_{sc} \cdot F_y$$

$A_{sc}$ : Área transversal del núcleo dúctil.

$F_y$ : Fluencia nominal del núcleo de acero.

$P_u$ : Fuerza axial máxima, proveniente de diseño LRFD, considerando las cargas sísmicas del análisis espectral modal reducido.

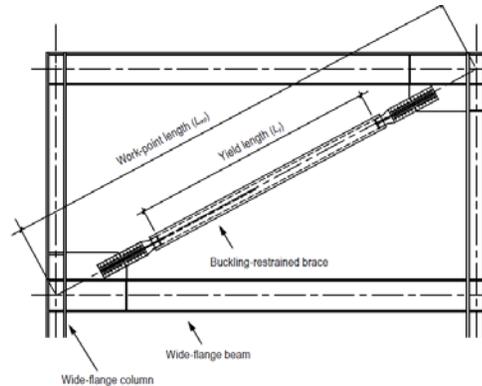


Figura IV.1: Esquema de Diagonal BRB.

Fuente: Steel Tips Seismic Design BRBF.

Luego se define la rigidez axial del elemento BRB en base al área del núcleo dúctil, el largo total del dispositivo y el factor de modificación del largo en cuestión para el prediseño.

$$K_{axial} = KF \cdot \frac{E \cdot A_{SC}}{L_{wp}} \quad KF = \frac{L_{wp}}{L_{sc}} = \frac{1}{0,7} = 1,43$$

Donde “ $L_{wp}$ ” corresponde al largo del dispositivo BRB o *work-point length* tal como se observa en la Figura IV.1 y “ $E$ ” corresponde al módulo de Young del acero del núcleo dúctil y “ $L_{sc}$ ” es el largo del núcleo dúctil o también denominado *yield length*.

Luego se dimensionan las columnas de forma de asegurar que los BRB fluyan, bajo sollicitaciones LRFD y realizando el siguiente equilibrio por nudo.

$$\begin{aligned} \Phi P_n &\geq P_{u_{estático}} + P_{u_{BRB}} \\ \Phi M_n &\geq M_{u_{estático}} + M_{u_{BRB}} \\ \Phi V_n &\geq V_{u_{estático}} + V_{u_{BRB}} \end{aligned}$$

Donde:

$(P_u, M_u \text{ y } V_u)_{estático}$ : Corresponden a la demanda axial, momento y corte último LRFD en columnas considerando cargas estáticas.

$\Phi$ : Factor de reducción de la resistencia según el tipo de demanda.

$(P_u, M_u, V_u)_{BRB}$ : Demanda axial, momento y corte último en las columnas bajo la condición de fluencia simultánea de los dispositivos BRB.

**IV.4 Caso 4:**

**IV.4.1 Solicitación Registros Artificiales.**

Los registros artificiales han sido generados considerando como semilla a los registros compatibilizados con el espectro para una zona sísmica 3 y tipo de suelo II. Los registros han sido compatibilizados a la NCh2745:2013 debido a las limitantes de la NCh2369.

**Registros DLE – Terremoto de Diseño.**

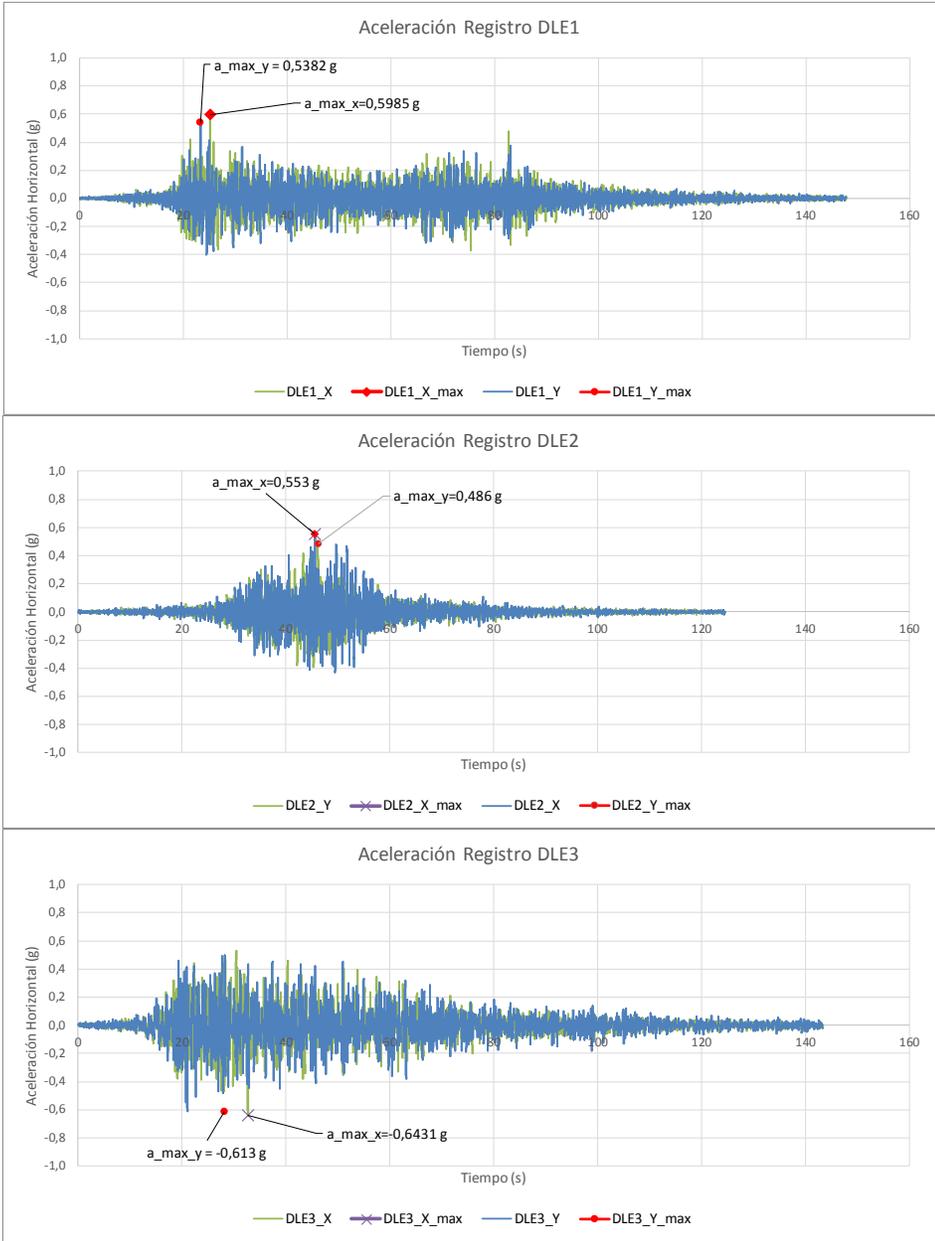


Gráfico IV.3: Registro Artificial 1, 2 y 3 DLE. Fuente: Elaboración Propia.

## Registros OLE – Terremoto Común o de Operación.

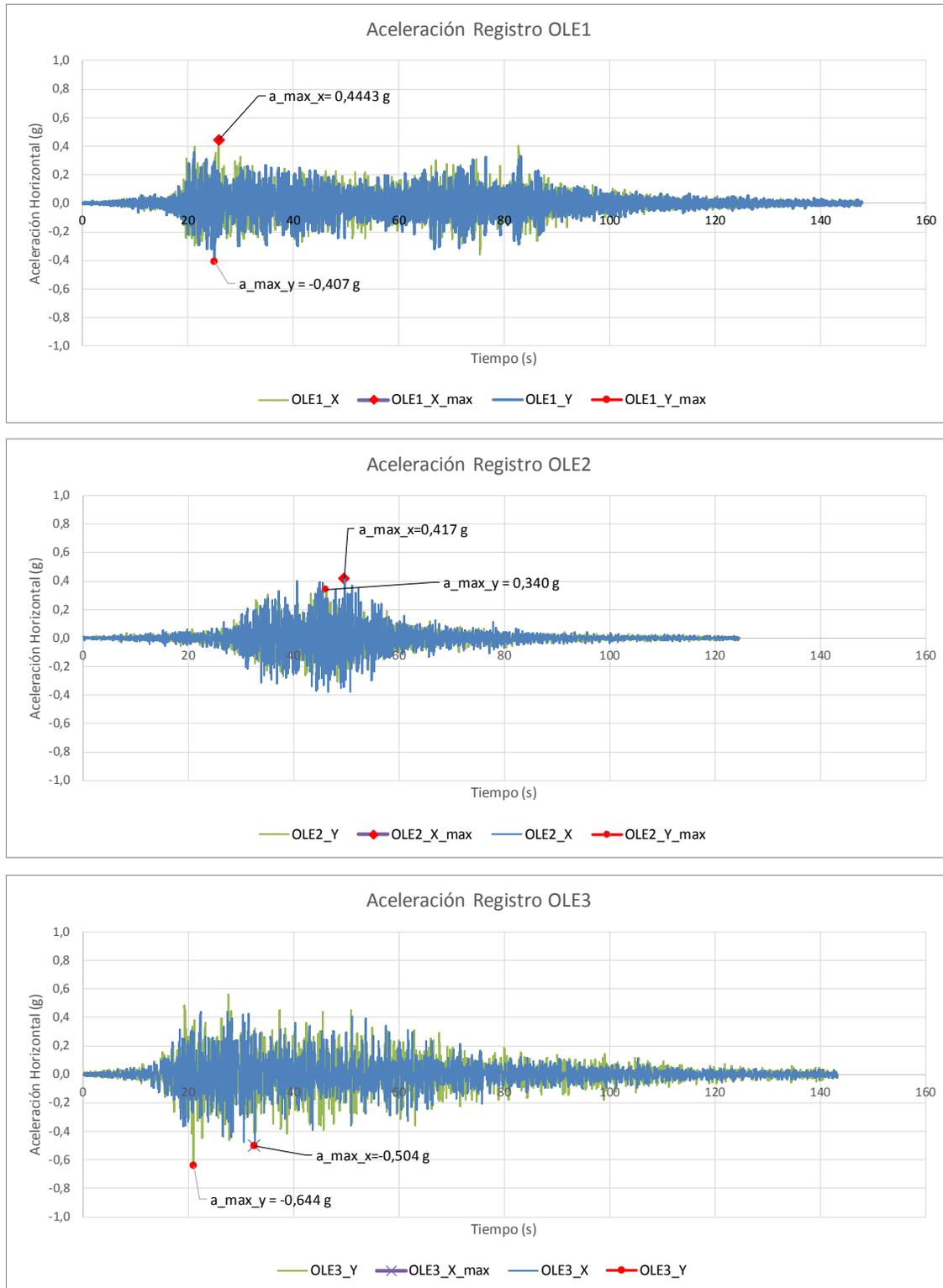


Gráfico IV.4: Registro Artificial 1, 2 y 3 OLE.

Fuente: Elaboración Propia.

## Registros MCE – Terremoto Máximo Creíble.

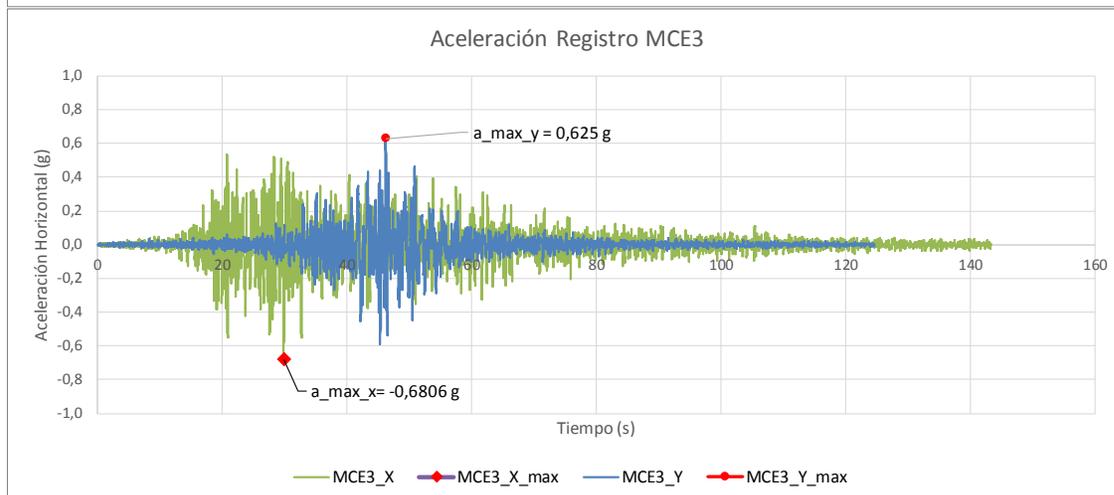
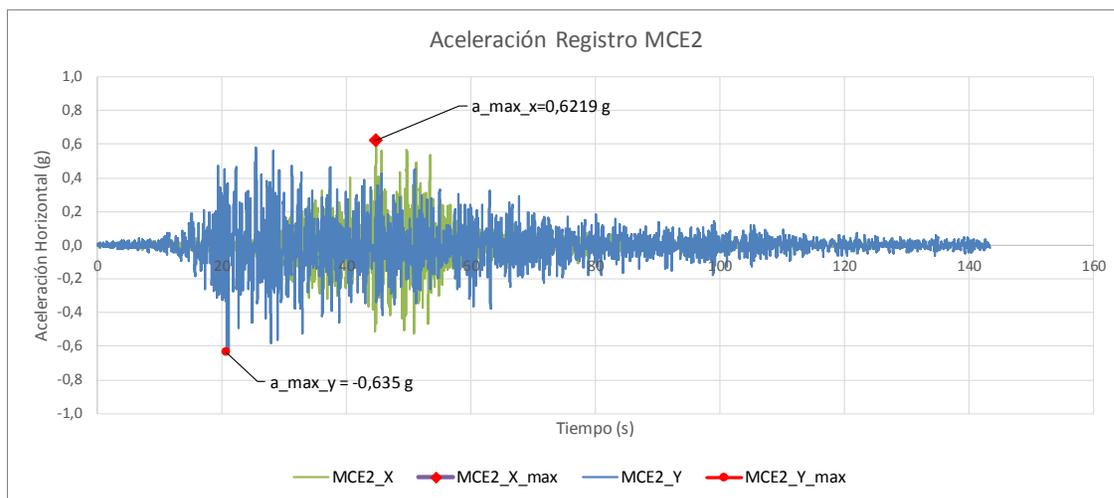
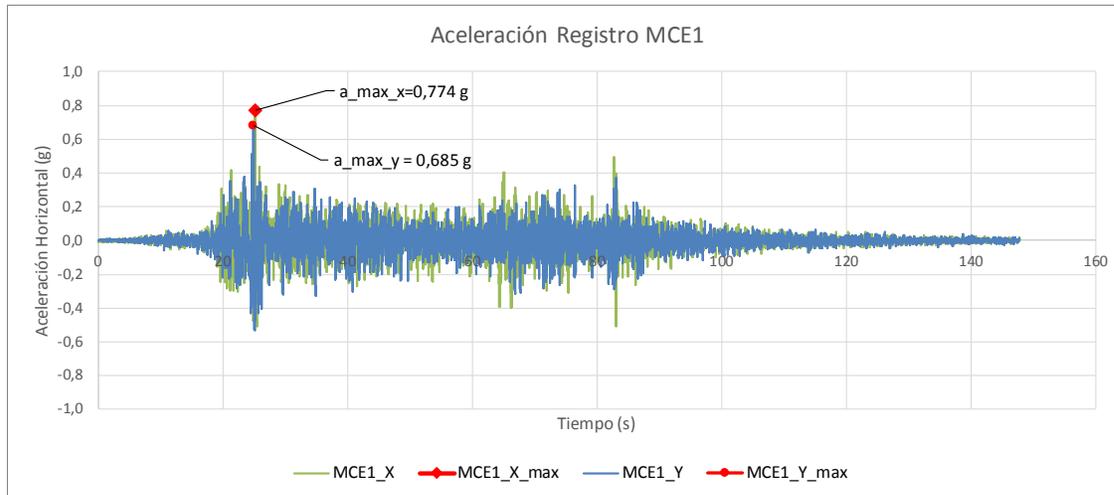


Gráfico IV.5: Registro Artificial 1, 2 y 3 MCE.

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores máximos de los registros son los siguientes

Registro DLE1:	a_max_x= 0,5985 g	t_max_x =25,19 s
	a_max_y= 0,5382 g	t_max_y =23,40 s.
Registro DLE2:	a_max_x= 0,5546 g	t_max_x =45,58 s
	a_max_y= 0,4856 g	t_max_y =46,18 s.
Registro DLE3:	a_max_x=-0,6431 g	t_max_x =32,64 s
	a_max_y=-0,6134 g	t_max_y =21,00 s.

Los valores máximos de los registros son los siguientes

Registro OLE1:	a_max_x= 0,4443 g	t_max_x =25,82 s
	a_max_y=-0,4070 g	t_max_y =25,06 s.
Registro OLE2:	a_max_x= 0,4170 g	t_max_x =49,68 s
	a_max_y= 0,3395 g	t_max_y =46,18 s.
Registro OLE3:	a_max_x=-0,5043 g	t_max_x =32,65 s
	a_max_y=-0,6442 g	t_max_y =21,01 s.

Los valores máximos de los registros son los siguientes

Registro MCE1:	a_max_x= 0,7737 g	t_max_x =25,19 s
	a_max_y= 0,6855 g	t_max_y =24,89 s.
Registro MCE2:	a_max_x= 0,6219 g	t_max_x =44,67 s
	a_max_y=-0,6345 g	t_max_y =20,73 s.
Registro MCE3:	a_max_x=-0,6806 g	t_max_x =29,81 s
	a_max_y=-0,6255 g	t_max_y =46,18 s.

#### IV.4.2 Análisis No Lineal.

Considera un análisis Tiempo Historia No Lineal a través del software estructural CSI SAP2000 v19. Se incorporan las propiedades constitutivas fuerza vs deformación de cada uno de los elementos.

Los elementos diagonales se representan con elementos tipo link, y su curva de histéresis varía dependiendo de la naturaleza del comportamiento que tenga el dispositivo o elemento estructural. Respecto a las riostras convencionales estas son representadas por elementos Link Multilinear Plastic Pivot, mientras que las BRB son representadas por elementos Link BRB Hardening.

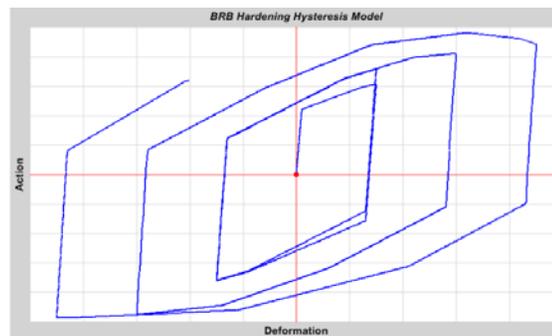


Figura IV.2: Curva de Histéresis BRB Hardening.

Fuente: CSI Analysis Reference Manual versión 19.

El modelo presentado en la Figura IV.2 es similar al modelo *kinematic*, pero cuenta con un incremento de tensión con la deformación plástica, lo que es típico de los BRB, dada por su curva esqueleto y sus *loop* de histéresis.

Por otro lado, para las columnas se verifica su sollicitación máxima respecto de la capacidad que posee la sección a través de un cálculo manual. Las vigas no serán modeladas con elementos no lineal considerando que están rotuladas y que no es parte del alcance del trabajo.

#### IV.4.3 Verificación de los 3 diseños anteriores.

Considerando lo mencionado en IV.1.3, IV.2.3 y IV.3.3.

## V ESTRUCTURACIÓN.

La estructura está compuesta por marcos arriostrados de acero y su función es cargar camiones concentrado a través de dos tolvas que se encuentran dentro del edificio. Las tolvas, a su vez, son cargadas mediante una correa que descarga en la parte superior del edificio a un alimentador reversible que carga a cada una de las tolvas. Este edificio cuenta con una altura de 18 metros y una planta de 18 x 20 metros.

En la Figura V.1 se muestra una vista de planta y elevación general del edificio.

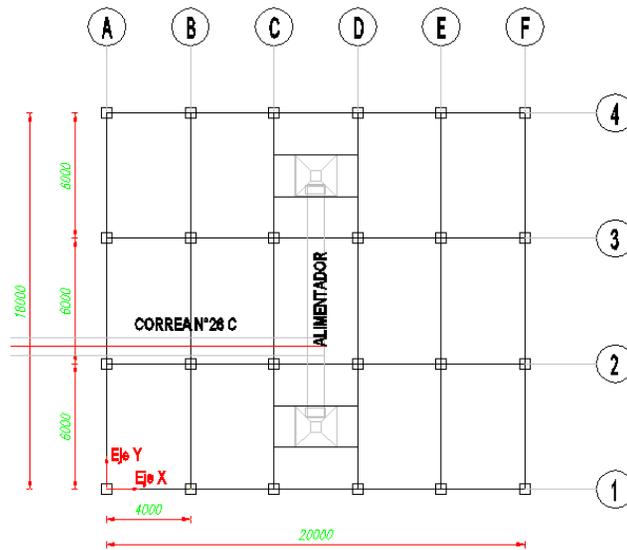


Figura V.1: Planta edificio despacho de camiones.

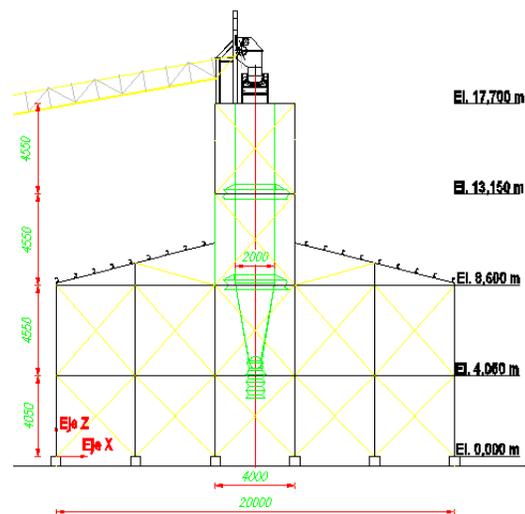
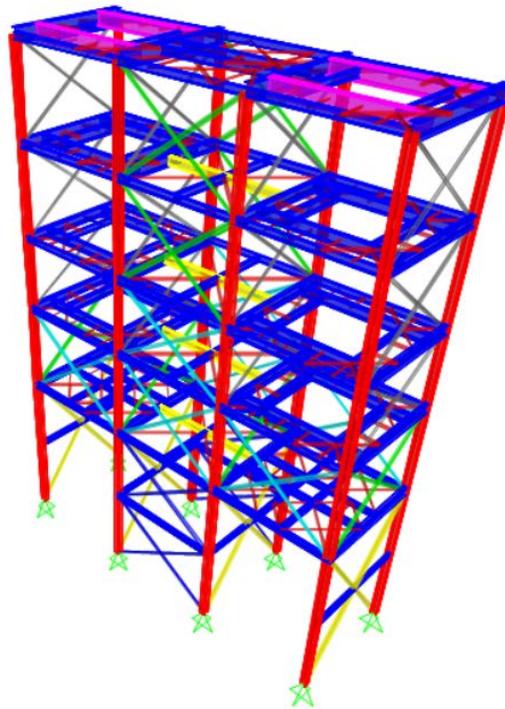


Figura V.2: Elevación edificio despacho de camiones

Para efectos de análisis estructural se considera que la estructura resistente son sólo los marcos comprendidos entre los ejes C y D que corresponden a los marcos centrales que soportan las tolvas.

A continuación, se entregan antecedentes generales de la estructura.

- Dimensión en Planta 4 x 12 metros
- Altura 18 metros.
- Marco de acero arriostrado en ambas direcciones.
- Columnas continuas.
- Vigas y diagonales con conexión de corte.
- Altura entre piso promedio 4,4 metros.
- Apoyos de la Tolva en la cota 18 metros y 12 metros.



*Figura V.3:Modelo Arriostrado CSI Sap2000.*

## VI ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.

Se empleará el Sistema Internacional de Unidades (SI), principalmente enfocado a que las dimensiones de las estructuras de acero se trabajarán en milímetros y las elevaciones en metros con tres cifras decimales. El proceso de modelación, cálculo y análisis se emplearán las unidades del sistema internacional MKS.

### VI.1 Condición del Sitio.

Esta estructura está localizada en la ciudad de Copiapó, región de Atacama, donde las condiciones del sitio son las siguientes:

Altura:	450 m.s.n.m.
Presión Barométrica Promedio:	96,4 kPa.
Temperaturas extremas:	0°C a 35°C.
Humedad relativa:	60 – 100 %.
Precipitación máx. 24 hrs:	68,3 mm.
Orientación del viento:	Predominio de viento noroeste (NW) para ciclo diurno, predominio de viento oeste (W) y suroeste (SW) para ciclo nocturno.
Intensidad del viento:	3,1 m/s de 12 pm a 12 am. 1,3 m/s de 12 am a 12 pm.
Clasificación sísmica:	Zona 3, NCh2369:2003.
Tipo de Suelo:	II, NCh2369:2003.
Contaminación:	Ambiente industrial con polvo y gas SO <sub>2</sub> en suspensión.

## VI.2 Normas y Estándares.

Todos los análisis y diseños de las estructuras se harán en conformidad a lo señalado en este documento y a lo indicado en las normas que se listan más abajo, en caso que se produzcan discrepancias entre las normativas recomendadas se adoptará la más estricta de ellas, a menos que en este documento se indique expresamente lo contrario.

AISC360-10	Specification for Structural Steel Buildings.
AISC341-10	Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.
ASTM A36	Standard Specification for Carbon Structural Steel.
NCh2369:2003	Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
NCh2369.Propuesta	Anteproyecto de Norma - actualización NCh2369:2003.

## VI.3 Materiales.

Se consideran los siguientes materiales:

Acero Estructural:	ASTM A36.
Calderería Tolva:	ASTM A36.
Parrillas de Piso:	ASTM A36.

Propiedades del Acero ASTM A36.

Tensión de Fluencia:	$F_y = 2.530 \text{ kg/cm}^2$
Tensión última:	$F_u = 4.080 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de Elasticidad:	$E = 2.040 \text{ ton/cm}^2$
Módulo de Poisson:	$\nu = 0,3.$

## VI.4 Estados de Carga.

El edificio será diseñado para resistir las cargas mínimas definidas en la normativa chilena. Luego éstas se combinarán para efectuar el análisis estructural. A continuación,

se indican las solicitaciones consideradas dentro del análisis y la estimación de cada una de las cargas.

Con el fin de facilitar el ingreso de las fuerzas en el software, las cargas son ingresadas unitarias al modelo SAP2000 en la dirección que corresponde a cada solicitación. Su magnitud es incorporada en el factor de carga de cada estado.

#### VI.4.1 Cargas permanentes (DL).

Corresponde a la acción de todas las cargas que actúan permanentemente sobre las estructuras. En particular, se incluye el peso de los elementos estructurales, no estructurales y el peso propio de todos los equipos e instalaciones que van sobre la estructura. Dentro de este tipo de carga están incluido el peso propio de la estructura y el peso de las tolvas vacías.

<b>Barandas</b>	<b>20 kg/ml</b>	
Plataforma 16,8 m	L: 32 ml	640 kg
Plataforma 13,8 m	L: 0 ml	0 kg
Plataforma 10,8 m	L: 0 ml	0 kg
Plataforma 8,3 m	L: 32 ml	640 kg
Plataforma 5,3 m	L: 32 ml	640 kg
<b>Total</b>		<b>1.920 kg</b>

<b>Parrilla de Piso</b>	<b>55 kg/m<sup>2</sup></b>	
Plataforma 16,8 m	A: 36,48 m <sup>2</sup>	2.006,4 kg
Plataforma 13,8 m	A: 0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 10,8 m	A: 0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 8,3 m	A: 36,48 m <sup>2</sup>	2.006,4 kg
Plataforma 5,3 m	A: 46,72 m <sup>2</sup>	2.569,6 kg
<b>Total</b>		<b>6.582,4 kg</b>

### **Peso Tolva.**

El edificio cuenta con dos tolvas de 5 toneladas de paso sin carga.

Plataforma 16,8 m	5.000 kg
Plataforma 13,8 m	0 kg
Plataforma 10,8 m	5.000 kg
Plataforma 8,3 m	0 kg
Plataforma 5,3 m	0 kg
<b>Total</b>	<b>10.000 kg</b>

### **Revestimientos (Costaneras + PV6 + Colgadores = 15 kg/m<sup>2</sup>).**

Plataforma 16,8 m	$h_{\text{tributario}} 1,5 \text{ m}$	$A: 48 \text{ m}^2$	720 kg
Plataforma 13,8 m	$h_{\text{tributario}} 3,0 \text{ m}$	$A: 96 \text{ m}^2$	1.440 kg
Plataforma 10,8 m	$h_{\text{tributario}} 2,8 \text{ m}$	$A: 88 \text{ m}^2$	1.320 kg
Plataforma 8,3 m	$h_{\text{tributario}} 2,8 \text{ m}$	$A: 88 \text{ m}^2$	1.320 kg
Plataforma 5,3 m	$h_{\text{tributario}} 1,5 \text{ m}$	$A: 12 \text{ m}^2$	180 kg
<b>Total</b>			<b>4.980 kg</b>

### **Peso Correa 24" (Peso 250 kg/ml L = 7,5 m)**

Una correa transportadora de concentrado de cobre descarga sobre la plataforma superior. La separación entre la última cepa y el edificio es 15 metros, por ende, se considera que descarga 7,5 m de la correa sobre el edificio.

Plataforma 16,8 m	1.875 kg
Plataforma 13,8 m	0 kg
Plataforma 10,8 m	0 kg
Plataforma 8,3 m	0 kg
Plataforma 5,3 m	0 kg
<b>Total</b>	<b>1.875 kg</b>

**Peso Alimentador 24" (Peso 250 kg/ml L = 8 m)**

Plataforma 16,8 m	2.000 kg
Plataforma 13,8 m	0 kg
Plataforma 10,8 m	0 kg
Plataforma 8,3 m	0 kg
Plataforma 5,3 m	0 kg
<b>Total</b>	<b>2.000 kg</b>

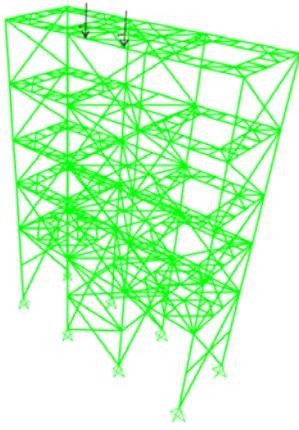
**Derrame de Concentrado en Edificio (Ds  $\rho_{\text{aparente concentrado de cobre}} = 2.000 \text{ kg/m}^3$ )**

Plataforma 16,8 m	$h_{\text{tributario}} = 5 \text{ cm}$	$36,48 \text{ m}^2$	3.648 kg
Plataforma 13,8 m	$h_{\text{tributario}} = 5 \text{ cm}$	$0 \text{ m}^2$	0 kg
Plataforma 10,8 m	$h_{\text{tributario}} = 5 \text{ cm}$	$0 \text{ m}^2$	0 kg
Plataforma 8,3 m	$h_{\text{tributario}} = 5 \text{ cm}$	$0 \text{ m}^2$	0 kg
Plataforma 5,3 m	$h_{\text{tributario}} = 5 \text{ cm}$	$0 \text{ m}^2$	0 kg
<b>Total</b>			<b>3.648 kg</b>

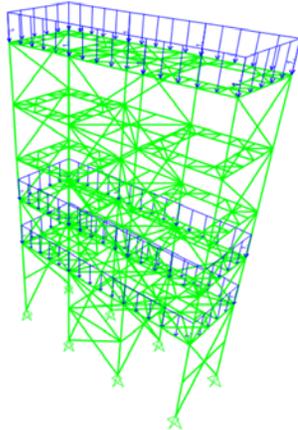
**Derrame de Concentrado en Correa (Ds  $\rho_{\text{aparente concentrado de cobre}} = 2.000 \text{ kg/m}^3$ )**

Plataforma 16,8 m	$h_{\text{tributario}} = 5 \text{ cm}$	$L_{\text{pasillo}} = 1,0 \text{ m}$	750 kg
Plataforma 13,8 m			0 kg
Plataforma 10,8 m			0 kg
Plataforma 8,3 m			0 kg
Plataforma 5,3 m			0 kg
<b>Total</b>			<b>750 kg</b>

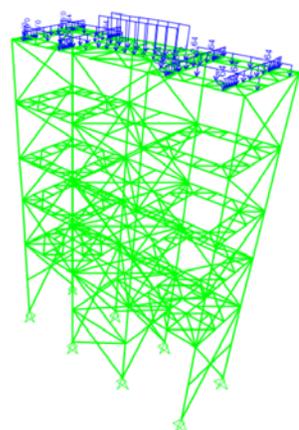
Finalmente, los estados de carga en SAP2000 se resumen en la Figura VI.1.



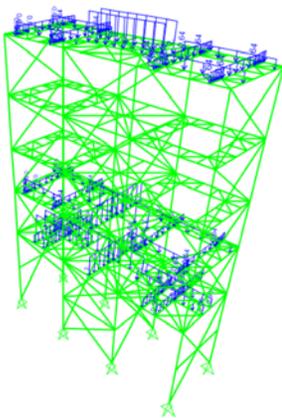
Cargas Correa



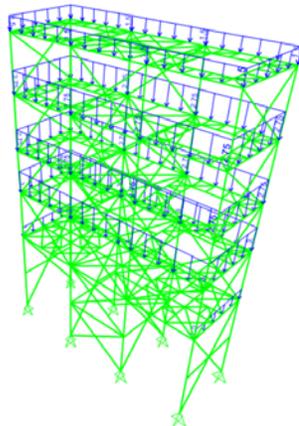
Cargas Barandas



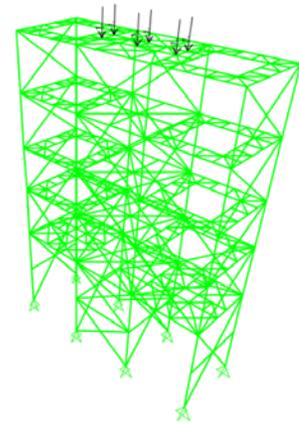
Ds concentrado correa



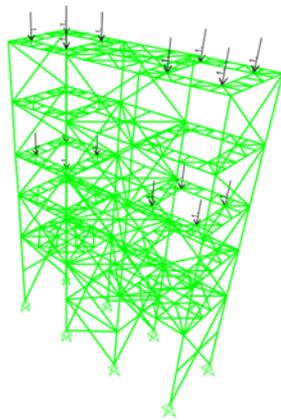
Carga Parrilla Piso



Peso Revestimientos



Carga Alimentador



Apoyos Tolva

Figura VI.1: Asignación de solicitaciones en Modelo.

## VI.4.2 Cargas Operacionales (Po)

### Correa Transportadora.

**Sobrecarga Nominal de la Correa (LL<sub>n</sub>).** Basada en la capacidad de diseño máxima de la correa (t/h) y la velocidad de la correa (operación normal), multiplicada por el factor de sobre carga  $\alpha=1,25$ , por ende, la carga empleada para el diseño estructural es  $\alpha LL_n$ .

Capacidad de Diseño 180 tmph

Velocidad Operación 1 m/s

Largo de la Correa 7,5 m

Sobrecarga Nominal 468,75 kg (1,25x180 ton/hr x1/3.600 s x1/1 s/m x1000x 7,5)

**Sobrecarga Máxima de la Correa (LL<sub>max</sub>).** Esta corresponde a la sobrecarga máxima de la correa basada en la capacidad de la sección transversal completa de la correa.

Angulo Sección Transversal de Material 35E 0,038 m<sup>2</sup> (trough angle 0,406 ft<sup>3</sup>)

Largo de Correa 7,5 metros entre apoyos

Ángulo de reposo del Material 38°

Peso Total Concentrado 570 kg (0,038 x 15/2 x 2.000)

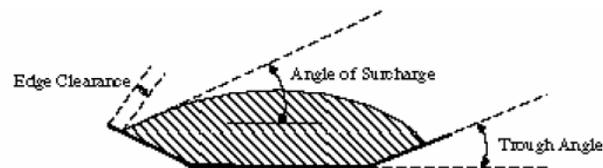


Figura VI.2: Sección transversal de material en correa.

Dado que LL<sub>max</sub> es mayor que LL<sub>n</sub> se utiliza LL<sub>max</sub>.

Finalmente, la distribución de cargas por plataforma es el siguiente.

Plataforma 16,8 m	570 kg
Plataforma 13,8 m	0 kg
Plataforma 10,8 m	0 kg
Plataforma 8,3 m	0 kg
Plataforma 5,3 m	0 kg

---

<b>Total</b>	<b>570 kg</b>
--------------	---------------

### Alimentador.

**Sobrecarga Nominal del Alimentador ( $LL_n$ ).** Basada en la capacidad de diseño máxima del alimentador 140-CT-052 (t/h) y la velocidad (operación normal), multiplicada por el factor de sobre carga  $\alpha=1,25$ , por ende, la carga empleada para el diseño estructural es  $\alpha LL_n$ .

Capacidad de Diseño 180 tmph

Velocidad Operación 1 m/s

Largo Alimentador 8 m

Sobrecarga Nominal 500 kg ( $1,25 \times 180 \text{ ton/hr} \times 1/3.600 \text{ s} \times 1/1 \text{ s/m} \times 1000 \times 8$ )

**Sobrecarga Máxima del Alimentador ( $LL_{max}$ ).** Esta corresponde a la sobrecarga máxima del alimentador basada en la capacidad de la sección transversal completa de la correa.

Angulo 35E 0,038 m<sup>2</sup> (trough angle 0,406 ft<sup>3</sup>).

Largo de Alimentador 8 metros.

Angulo de reposo 38°

Capacidad de Diseño 180 tmph

Peso Concentrado 608 kg ( $0,038 \times 8 \times 2.000$ )

Dado que  $LL_n$  es mayor que  $LL_{max}$  se utiliza  $LL_{max}$ .

Finalmente, la distribución de cargas por plataforma es el siguiente.

Plataforma 16,8 m	36,48 m <sup>2</sup>	608 kg
Plataforma 13,8 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 10,8 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 8,3 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 5,3 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
<b>Total</b>		<b>608 kg</b>

### Concentrado de Cobre en Tolvas.

Volumen	75,4	m <sup>3</sup> (Considera 2 tolvas)
Densidad Aparente	2	Ton/m <sup>3</sup>
Carga Viva Total	150,6	ton

Plataforma 16,8 m	75.300 kg
Plataforma 13,8 m	0 kg
Plataforma 10,8 m	75.300 kg
Plataforma 8,3 m	0 kg
Plataforma 5,3 m	0 kg

---

<b>Total</b>	<b>150.600 kg</b>
--------------	-------------------

#### VI.4.3 Sobrecarga de Uso (LL).

Cargas asociadas al uso que se dará a las estructuras y son de carácter temporal. Se incluyen en este ítem las sobrecargas derivadas del tránsito de personas o acopio de materiales, cargas de operación de vehículos y/o grúas, líquidos o tierra que sean o puedan ser variables en el tiempo durante la operación normal.

Se consideran las siguientes cargas.

*Tabla VI.1: Sobrecarga y Masa Sísmica.*

Tipo de Carga	Sobrecargas [kg/m <sup>2</sup> ]	% de Masa Sísmica
Pasillos de Correas Transportadoras	250	25%
Pasillos del Edificio	400	25%

Las sobrecargas que aplican a esta estructura son:

**Sobrecarga Pasillo Edificio 400 kg/m<sup>2</sup>**

Plataforma 16,8 m	36,48 m <sup>2</sup>	14.592 kg
Plataforma 13,8 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 10,8 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 8,3 m	36,48 m <sup>2</sup>	14.592 kg
Plataforma 5,3 m	46,72 m <sup>2</sup>	18.684 kg
<b>Total</b>		<b>47.868 kg</b>

**Galería Correa 250 kg/m<sup>2</sup>.**

Plataforma 16,8 m	7 m <sup>2</sup> (galería)	1.750 kg
Plataforma 13,8 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 10,8 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 8,3 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
Plataforma 5,3 m	0 m <sup>2</sup>	0 kg
<b>Total</b>		<b>1.750 kg</b>

#### **VI.4.4 Cargas de Viento (W).**

La estimación de las cargas de viento se basará en lo estipulado en la norma chilena NCh432. Para efectos de la estimación de la carga de viento se considerará que a las estructuras aplican los siguientes parámetros:

Categoría de exposición	:	C
Categoría de ocupación	:	3
Factor de importancia	:	I = 1.15

La aplicación de estas cargas de viento se hará siguiendo la metodología descrita en dicha norma. Se privilegiará el uso del Método 1: Procedimiento Simplificado, detallado en el punto 6 de la norma, salvo que por las restricciones de este método no se pueda utilizar.

#### **VI.4.5 Cargas de Nieve (S)**

Esta carga no forma parte del análisis debido a que no existe presencia de nieve en la zona donde se emplaza la estructura.

#### **VI.4.6 Cargas Sísmicas (E).**

El diseño sísmico se basa en la norma chilena NCh2369. La masa sísmica se calcula considerando los siguientes factores.

$$M_s = 100\% \text{Carga Muerta (DL)} + 25\% \text{Carga Viva (LL)} + 100\% \text{Carga de Operaciones (Po)}.$$

El tipo de carga sísmica variará dependiendo del tipo de análisis que se realiza. De acuerdo a lo mencionado en los capítulos anteriores, se aplican los siguientes análisis.

- a) Análisis Modal Espectral Lineal según NCh2369:2003 marco arriostrado.
- b) Análisis Modal Espectral Lineal según NCh2369:2003 marco con BRB.
- c) Análisis Tiempo Historia No Lineal con registros artificiales.

Todos los parámetros y registros están definidos en el capítulo IV.

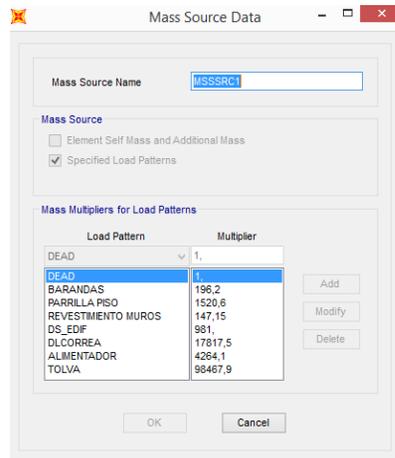


Figura VI.3: Masa Sísmica.

Las cargas son definidas unitarias en el modelo SAP2000, para luego aplicarles el factor de escala correspondiente a la solicitud.

En base a las estimaciones de carga la masa sísmica equivale a:

DL	31.755 kg	100%	MsDL = 31.755 kg
LL	49.618 kg	25%	MsLL = 12.405 kg
Po	151.778 kg	100%	MsPo = 151.778 kg
<b>Total</b>			<b>Ms = 195.938 kg.</b>

A esta carga falta sumarle el peso de la estructura que dependerá de cada caso analizado.

Considerando que el peso de la estructura es cercano a las 20 toneladas la masa sísmica es del orden de 216 ton.

## VI.5 Combinaciones de Carga.

### VI.5.1 Combinaciones método tensiones admisibles (ASD)

Cuando se esté usando el Método de Tensiones Admisibles (ASD: Allowable Stress Design) para el diseño de elementos estructurales de acero o estimación de deformaciones, se usará como mínimo las siguientes combinaciones:

LC	D y Po	LL (2)	So	Sa	W	E (1)	T
1	1	-	-	-	-	-	-
2	1	1	-	-	-	-	1
3-6	1	-	-	-	1	-	-
7-12	1	0,25	-	-	-	1	-
13-16	1	0,75	-	-	0,75	-	-
17-22	1	a(4)	1	1	-	1	-

Notas:

- (1) E incluye sismo en dos direcciones vertical y horizontal, el sismo vertical se considera solo en los casos indicados en 5.1.1 de la NCh2369, y su magnitud se determina de acuerdo al punto 5.5 de la norma.
- (2) LL = Sobrecarga (L).
- (3) Usar RL en vez de L para las combinaciones de carga sísmica (RL sobrecarga reducida).
- (4) Factor de sobrecarga especificado en 4.5 de NCh2369.
- (5) Sa y So de acuerdo a punto 4.5 de NCh2369.
- (6) Solo se permite incremento de las tensiones admisibles de un 33% en LC 8 y 9.

## VI.6 Deformaciones Máximas.

Para estimación de las deformaciones de la estructura se consideran los escenarios más desfavorables asociados a las cargas que actúan sobre ellas.

Cuando se estén estimando las deformaciones asociadas a combinaciones de carga que no consideran la acción del sismo, éstas serán de naturaleza elástica. En cambio, cuando el sismo está presente sobre la estructura las deformaciones a calcular deben ser de naturaleza inelástica, para lo cual se deben seguir las disposiciones del artículo 6.1 de la NCh2369 que considera la amplificación de la deformación sísmica por el factor R.

Se debe verificar que la estructura tenga una rigidez suficiente de modo tal que tanto su deformación global, como la deformación particular de cada elemento, esté dentro de los rangos admisibles. El artículo 6.3 de la norma establece las deformaciones sísmicas máximas.

La Tabla VI.2 muestra valores límites de deformaciones, los cuales no son excluyentes de requisitos más restrictivos debido a las condiciones particulares de diseño de la estructura.

Tabla VI.2: Límites de deformaciones máximas.

Deformación	Tipo	Elemento	Valor
Vertical	Elástica	Viga de plataformas	L/360
		Vigas que soportan correas	L/600
Horizontal	Elástica	Marcos edificios sin elementos frágiles	H/250
	Inelástica	Marcos edificios	0,015*H

Donde:

L: Luz efectiva entre puntos de apoyo.

H: Altura total del elemento o estructura.

## VII COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

### VII.1 Resultados Diseño Caso 1.

#### VII.1.1 Perfiles Utilizados.

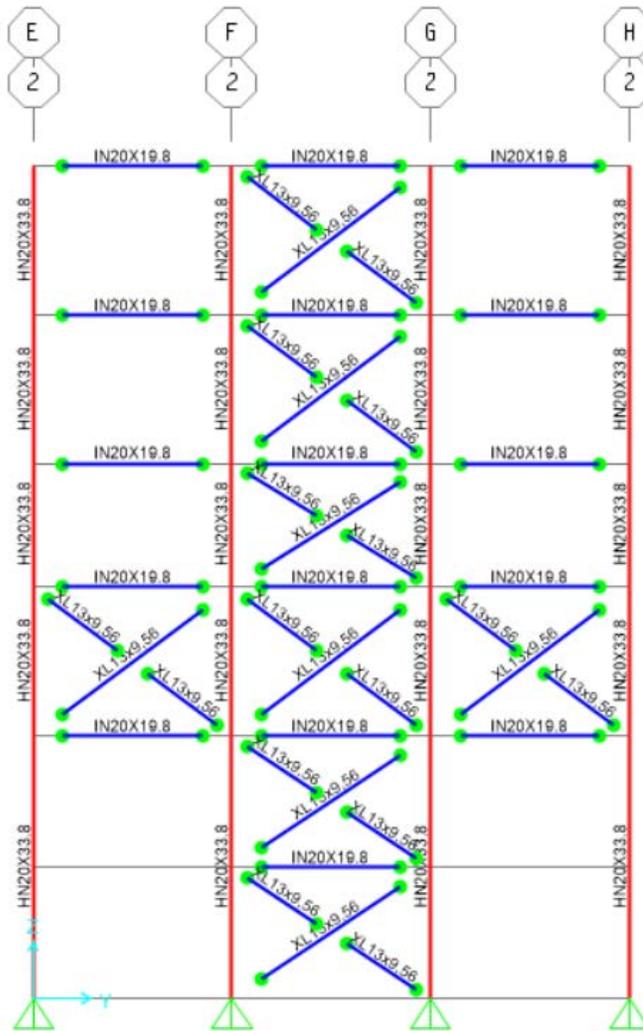


Figura VII.1: Elevación perfilaría eje 1 y eje 2.

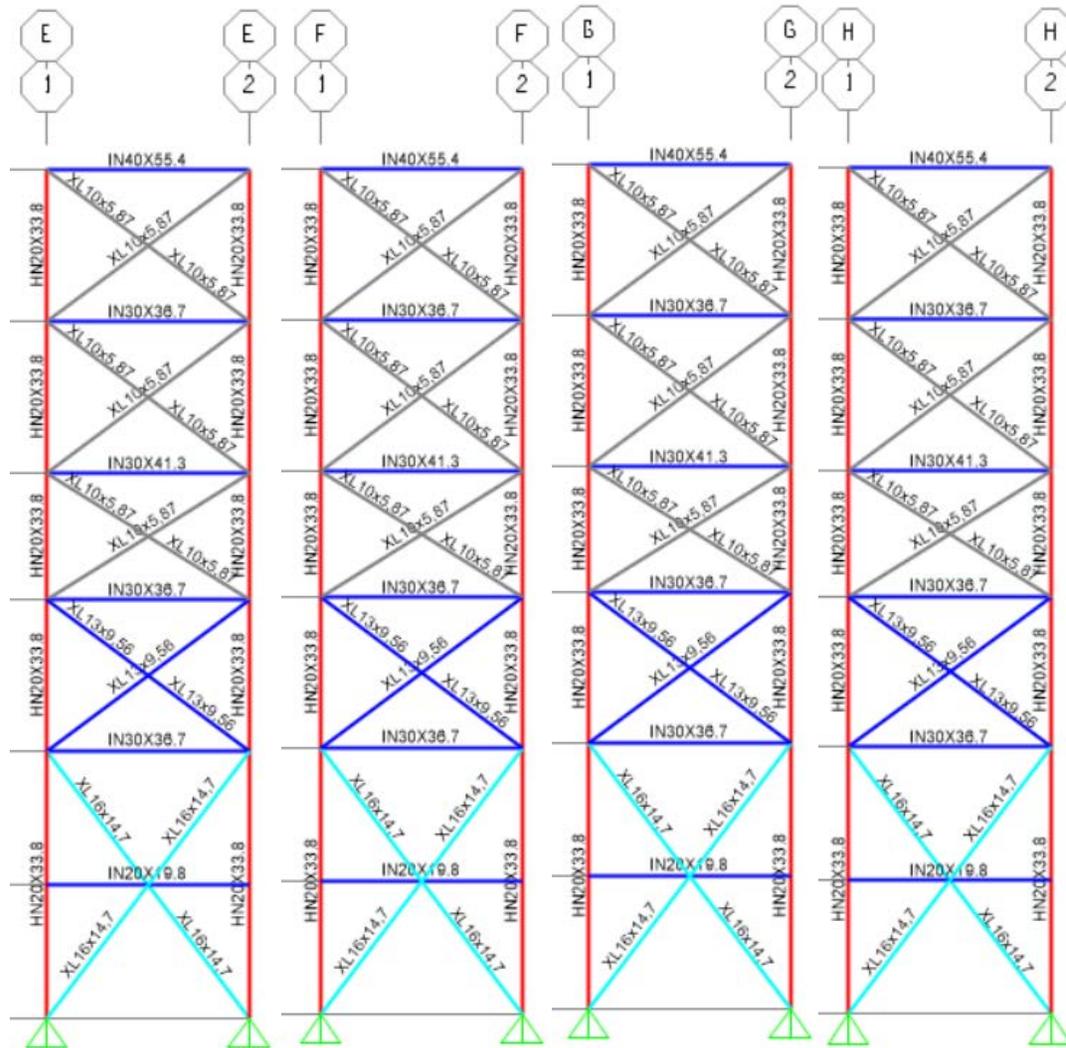


Figura VII.2: Perfilarías Eje E, F, G y H.

La Tabla VII.1 resume los perfiles y propiedades de cada elemento estructural utilizado en la estructura del Caso 1.

Tabla VII.1: Caso 1 - Esbeltez global y local.

Tipo de Elemento	PERFIL	B [mm]	t <sub>f</sub> [mm]	H [mm]	t <sub>w</sub> [mm]	r <sub>x</sub> [cm]	r <sub>y</sub> [cm]	L <sub>px.max</sub> [cm]	L <sub>py.max</sub> [cm]	Esbeltez Global		Esbeltez Local					
										λ <sub>x</sub>	λ <sub>y</sub>	b/t <sub>f</sub>	λ <sub>r.ala</sub>	E <sub>ST</sub> Ala	h/t <sub>w</sub>	λ <sub>r.alma</sub>	E <sub>ST</sub> Alma
Columnas	HN20X33,8	200	6	200	8	8,7	4,9	530	270	122	106	17	16	E	24	43	NE
Vigas Principales	IN20X19,8	100	5	200	8	8,3	2,3	400	240	48	104	10	16	NE	24	43	NE
	IN30X36,7	150	6	300	10	12,6	3,5	400	80	32	23	13	16	NE	29	43	NE
	IN40X49,3	200	6	400	10	16,9	4,6	400	80	24	17	17	15	E	39	43	NE
	IN40X55,4	200	6	400	12	17,1	4,8	400	160	23	34	17	16	E	32	43	NE
Riostras Verticales	XL16x14,7	160	6,0	160	6,0	3,18	3,82	250	250	79	65	11	13	NE	11	13	NE
	XL13x9,56	130	5,0	130	5,0	2,58	3,16	240	240	93	76	11	13	NE	11	13	NE
	XL13x9,56	130	5,0	130	5,0	2,58	3,16	250	250	97	79	11	13	NE	11	13	NE
	XL10x5,87	100	4,0	100	4,0	1,99	2,50	236	236	119	94	11	13	NE	11	13	NE

Donde:

$$\text{Esbeltez Global según NCh2369: } \lambda_{adm} = 1,5 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,8$$

Clasificación según tipo de esbeltez local:

C: Elemento Compacto.

NC: Elemento No Compacto.

NE: No Esbelto.

E: Esbelto.

### VII.1.2 Periodo de la Estructura.

Los modos que presentan una mayor participación modal son los modos 1 y 2 asociados a los modos en las dos direcciones ortogonales horizontales. Considerando los 16 modos la participación modal es superior al 90%, tal como lo indicado en la NCh2369:2003.

Tabla VII.2: Caso 1 - Periodo y factor de participación modal.

Modo	Periodo (seg)	Participación Modal			Participación Modal Acumulada		
		Sum ux	Sum uy	Sum uz	Sum ux	Sum uy	Sum uz
1	0,67	0%	86%	0%	0%	86%	0%
2	0,66	87%	0%	0%	87%	86%	0%
3	0,46	0%	0%	0%	87%	86%	0%
4	0,23	0%	0%	62%	87%	86%	62%
5	0,23	0%	3%	0%	87%	89%	62%
6	0,21	0%	9%	0%	87%	98%	62%
7	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
8	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
9	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
10	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
11	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
12	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
13	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
14	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
15	0,19	0%	0%	20%	87%	98%	82%
16	0,19	2%	0%	1%	89%	98%	83%

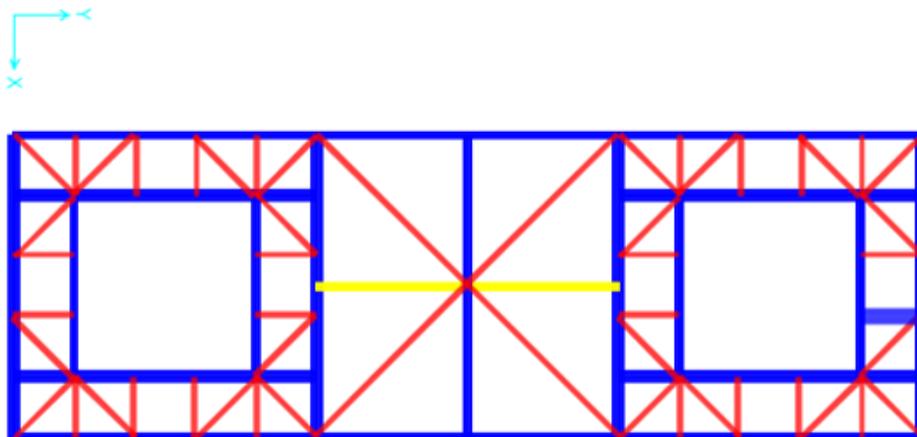


Figura VII.3: Orientación de los Ejes del Modelo.

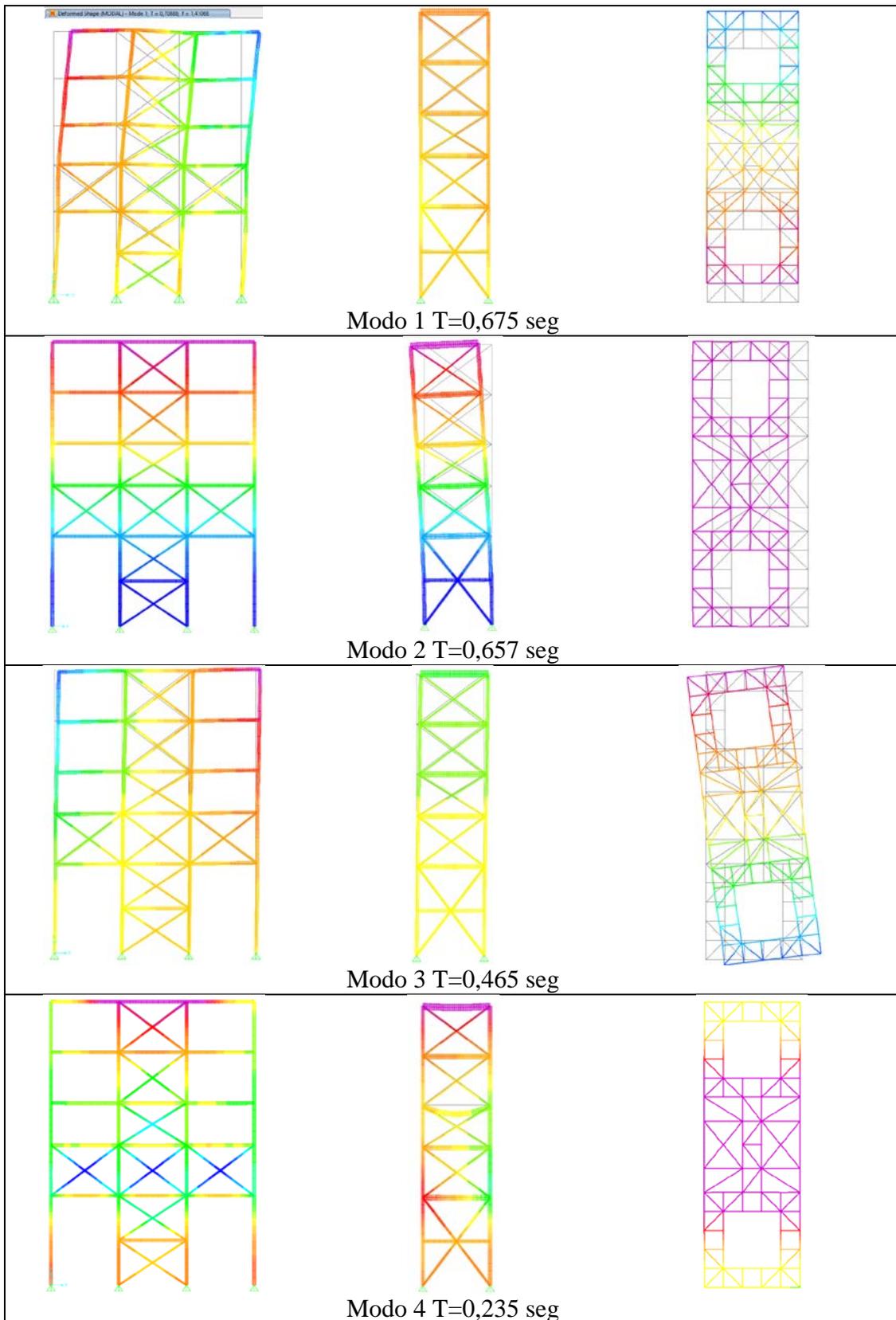


Figura VII.4: Modos de Vibrar de la estructura.

### VII.1.3 Corrección por Corte Mínimo.

A continuación, se verifica el corte considerando la restricción de corte mínimo indicado en la norma, a través de la siguiente ecuación.

$$Q_{min} = 0,25 I \frac{A_0}{g} P = 0,12 P \quad \text{con } P = 217,3 \text{ ton} \Rightarrow Q_{min} = 26 \text{ ton}$$

Donde “P” corresponde a la masa sísmica obtenida del modelo y estimada en el punto VI.4.6. Considerando que el periodo fundamental de la dirección “X” corresponde a 0,67 seg y para la dirección “Y” a 0,66 seg, ambas pseudo-aceleraciones modales están sobre el mínimo, siendo la de la dirección “X” muy cercana a la mínima, tal como se observa en Gráfico VII.1 y Tabla VII.3. Para verificar el corte mínimo se debe calcular el corte combinado de todos los modos.

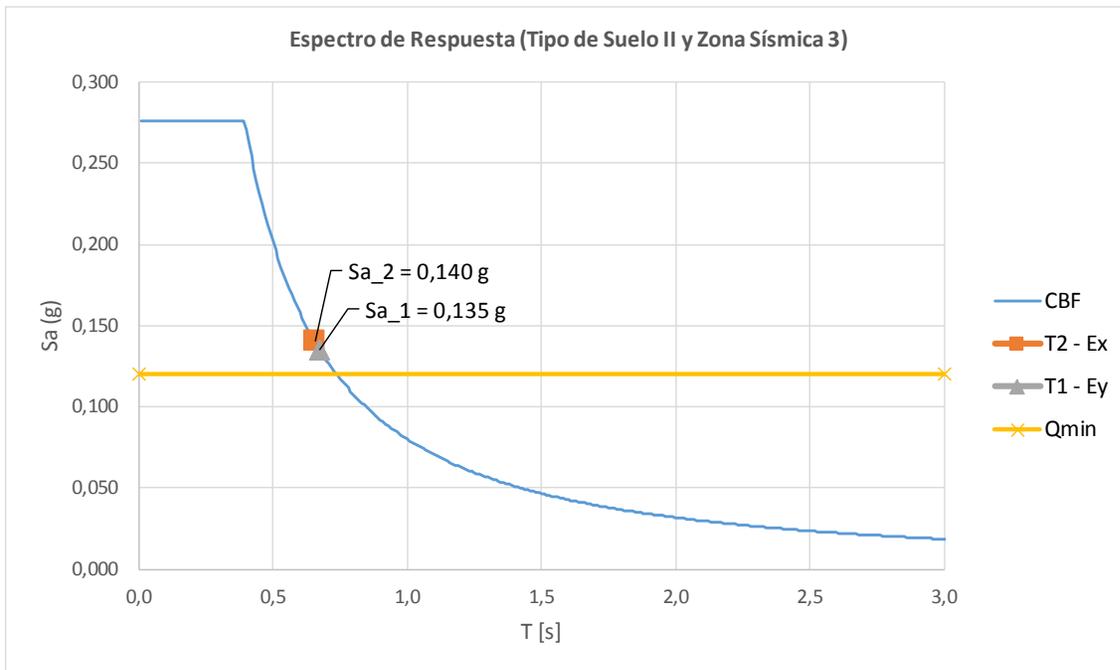


Gráfico VII.1: Espectro CBF y Periodos Fundamentales.

Tabla VII.3: Verificación del Corte Mínimo Caso 1.

Dirección	Corte Q [ton]	Corte Mín ( $Q_{min}$ )	$Q_{min}/Q$
E <sub>X</sub>	26,4 ton	26,0 ton	< 1, no corregir
E <sub>Y</sub>	26,1 ton	26,0 ton	< 1, no corregir

Tal como se observa en el Gráfico VII.1, los periodos fundamentales en ambas direcciones son superiores a lo requerido por el corte mínimo, y su efecto combinado también es superior al mínimo, tal como se observa en la Tabla VII.3, por lo tanto, no es necesario corregir el corte dado que es mayor al mínimo requerido.

### VII.1.4 Verificación de las Columnas.

La columna más solicitada mediante un análisis ASD son las columnas centrales a nivel de piso, éstas tienen un factor de utilización de 0,812.

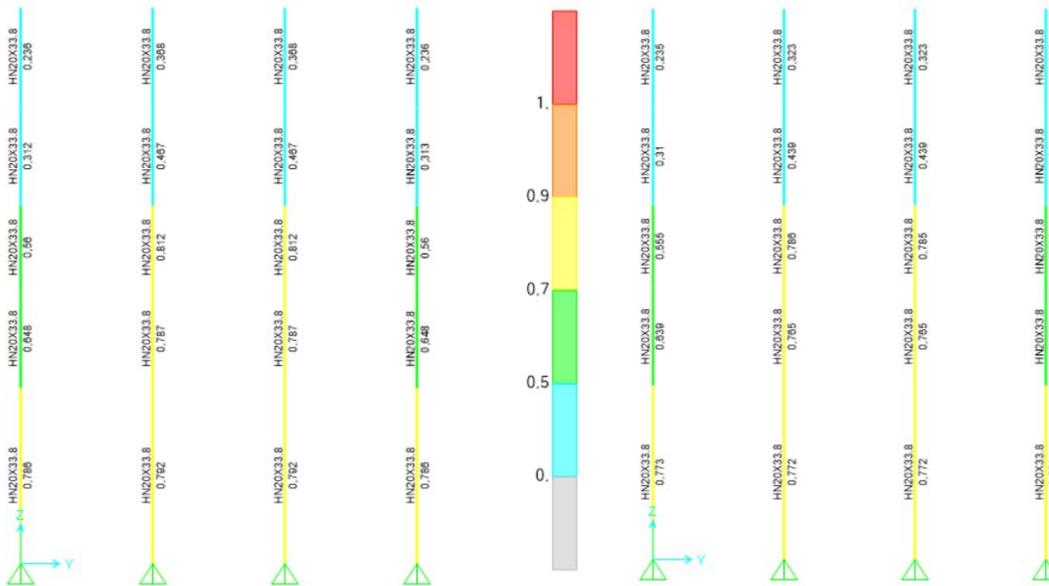


Figura VII.5: Caso 1 - Columnas más solicitada (Eje 1 y Eje 2).

Tabla VII.4: Caso 1 - Solicitación máxima axial en columnas.

Perfil 1 HN20x33.8 C7.1	Solicitación			Nominal			FU
	P <sub>r</sub> [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC8	-41,7	-0,24	0,01	-56,17	4,796	1,574	0,79

PPM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)  
 D/C Ratio: 0,792 = 0,742 + 0,044 + 0,007  
 = (P<sub>r</sub>/P<sub>c</sub>) + (8/9) (M<sub>r33</sub>/M<sub>c33</sub>) + (8/9) (M<sub>r22</sub>/M<sub>c22</sub>)

### VII.1.5 Verificación de Vigas.

Las vigas más solicitadas son las que soportan las tolvas, considerando que la carga vertical de la tolva es tomada en 2 niveles, con 4 puntos de apoyo por nivel, son las que se presentan en la siguiente Figura.

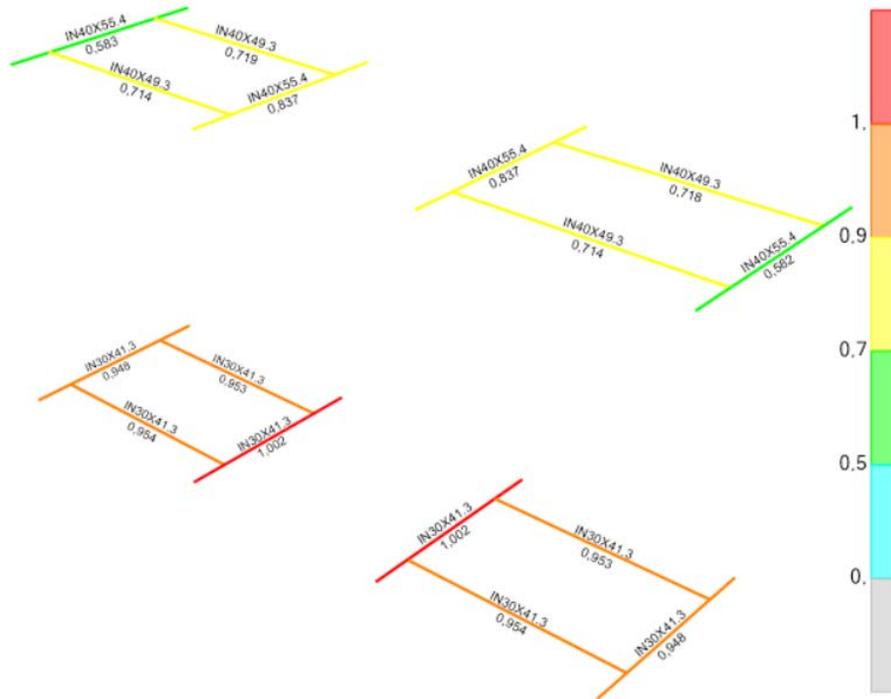


Figura VII.6: Caso 1 - Vigas apoyo tolva más solicitada.

Tabla VII.5: Caso 1 - Solicitación máxima axial en vigas.

Perfil 1 IN30x41,3	Solicitación			Nominal			FU
	Pr [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC10	2,19	8,953	0,131	73,15	9,594	2,076	1,01

$$\begin{aligned}
 & \text{PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)} \\
 & \text{D/C Ratio: } 1,010 = 0,014 + 0,933 + 0,063 \\
 & = (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)
 \end{aligned}$$

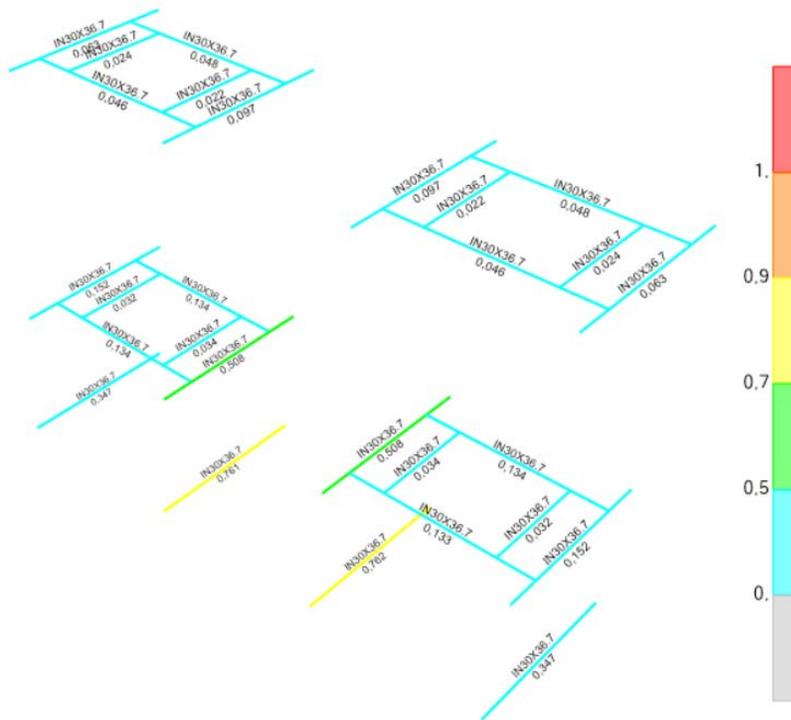


Figura VII.7: Caso 1 – Vigas IN30x36,7.

Tabla VII.6: Caso 1 - Factor de utilización vigas IN30x36,7.

Perfil 1 IN30x36,7	Solicitud			Nominal			FU
	Pr [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC2	6,1	5,274	0,156	61,6	8,4	1,74	0,76

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2, H1-1b)  
 D/C Ratio:  $0,762 = 0,043 + 0,629 + 0,089$   
 $= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$

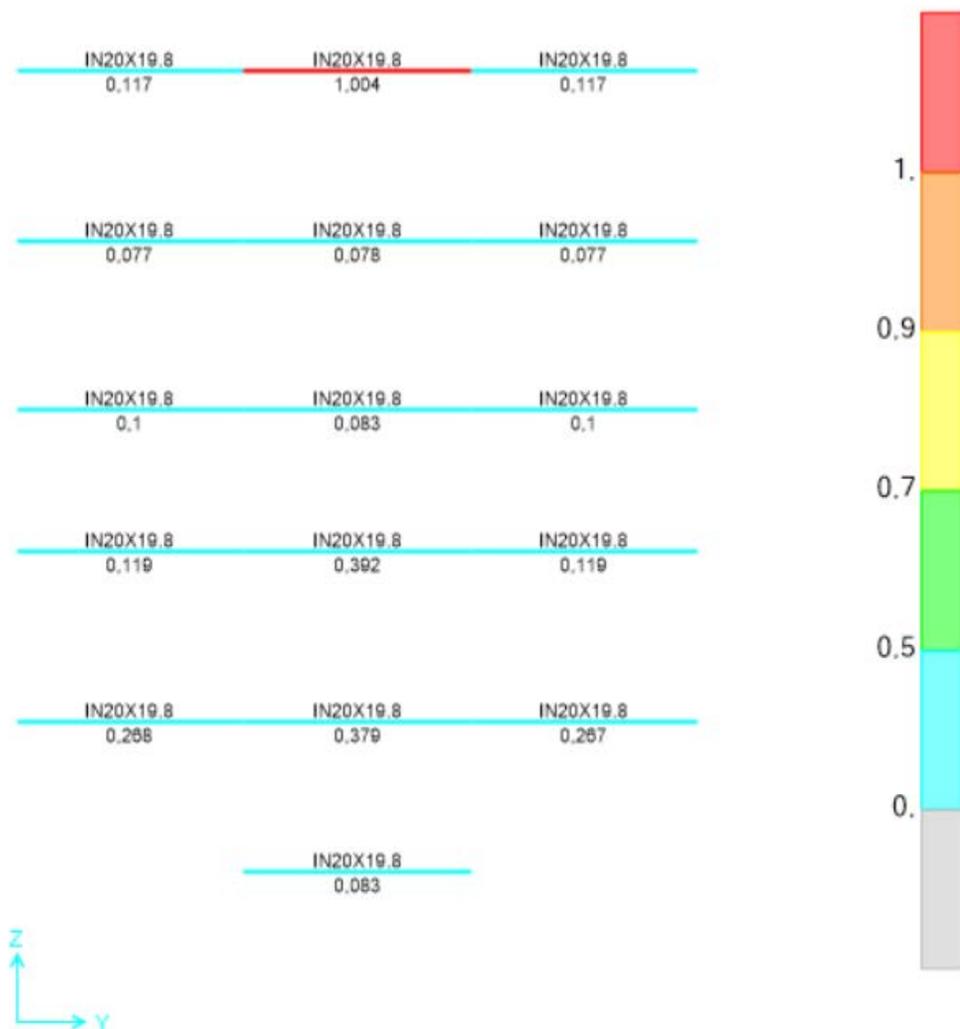


Figura VII.8: Caso 1 – Vigas IN20x19,8.

Tabla VII.7: Caso 1 - Factor de utilización vigas IN20x19,8.

Perfil 1 IN20x19,8 VS5.2	Solicitud			Nominal			FU
	P <sub>r</sub> [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC2	0,88	2,6	0,0	25,7	2,6	0,6	1,0

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)  
D/C Ratio: 1,003 = 0,012 + 0,990 + 0,001  
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

## VII.1.6 Verificación de Diagonales.

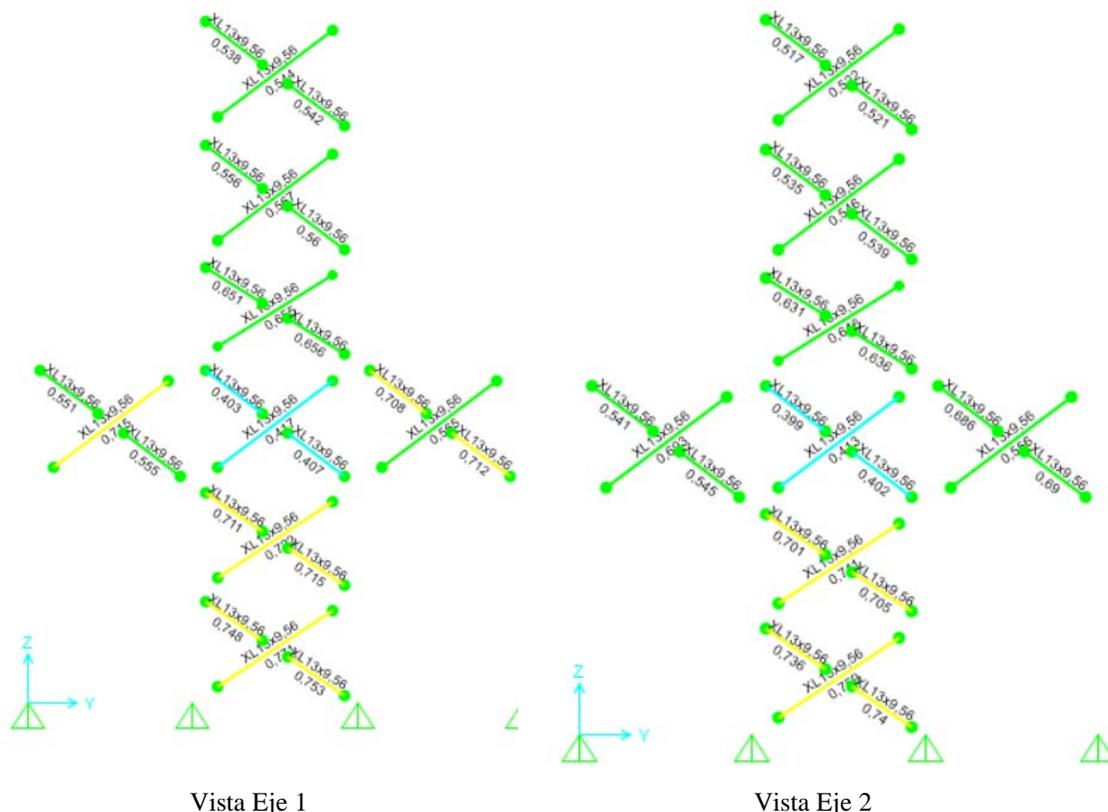


Figura VII.9: Caso 1 – Elevación Eje 1 y 2 diagonales.

Tabla VII.8: Caso 1 - Factor de utilización diagonal XL13x9,56

Perfil	Solicitación			Nominal			FU
	Pr	M <sub>33</sub>	M <sub>22</sub>	P <sub>n</sub> /Ω	M <sub>33n</sub> /Ω	M <sub>22n</sub> /Ω	
XL13x9,56 RVS1.2	[ton]	[ton m]	[ton m]	[ton]	[ton m]	[ton m]	
LC10	-9,4	0,01	0,0	13,17	0,234	0,234	0,77

PM1 DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)  
D/C Ratio: 0,771 = 0,714 + 0,057 + 0,000  
= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

Tabla VII.9: Caso 1 - Factor de utilización diagonal XL10x5,87

Perfil	Solicitación			Nominal			FU
	Pr	M <sub>33</sub>	M <sub>22</sub>	P <sub>n</sub> /Ω	M <sub>33n</sub> /Ω	M <sub>22n</sub> /Ω	
XL10x5,87 68	[ton]	[ton m]	[ton m]	[ton]	[ton m]	[ton m]	
LC8	-4,74	0,004	0,0	6,695	0,116	0,116	0,76

PM1 DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)  
D/C Ratio: 0,764 = 0,708 + 0,056 + 0,000  
= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

Tabla VII.10: Caso 1 - Factor de utilización diagonal XL16x14,1.

Perfil 1 XL16x14,7 F53	Solicitud			Nominal			FU
	Pr [ton]	M33 [ton m]	M22 [ton m]	Pr/Ω [ton]	M33n/Ω [ton m]	M22n/Ω [ton m]	
LC7	-11,5	-0,021	0,0	17,97	0,436	0,436	0,68

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)  
D/C Ratio:  $0,681 = 0,639 + 0,042 + 0,000$   
 $= (Pr/Pc) + (8/9)(Mr33/Mc33) + (8/9)(Mr22/Mc22)$

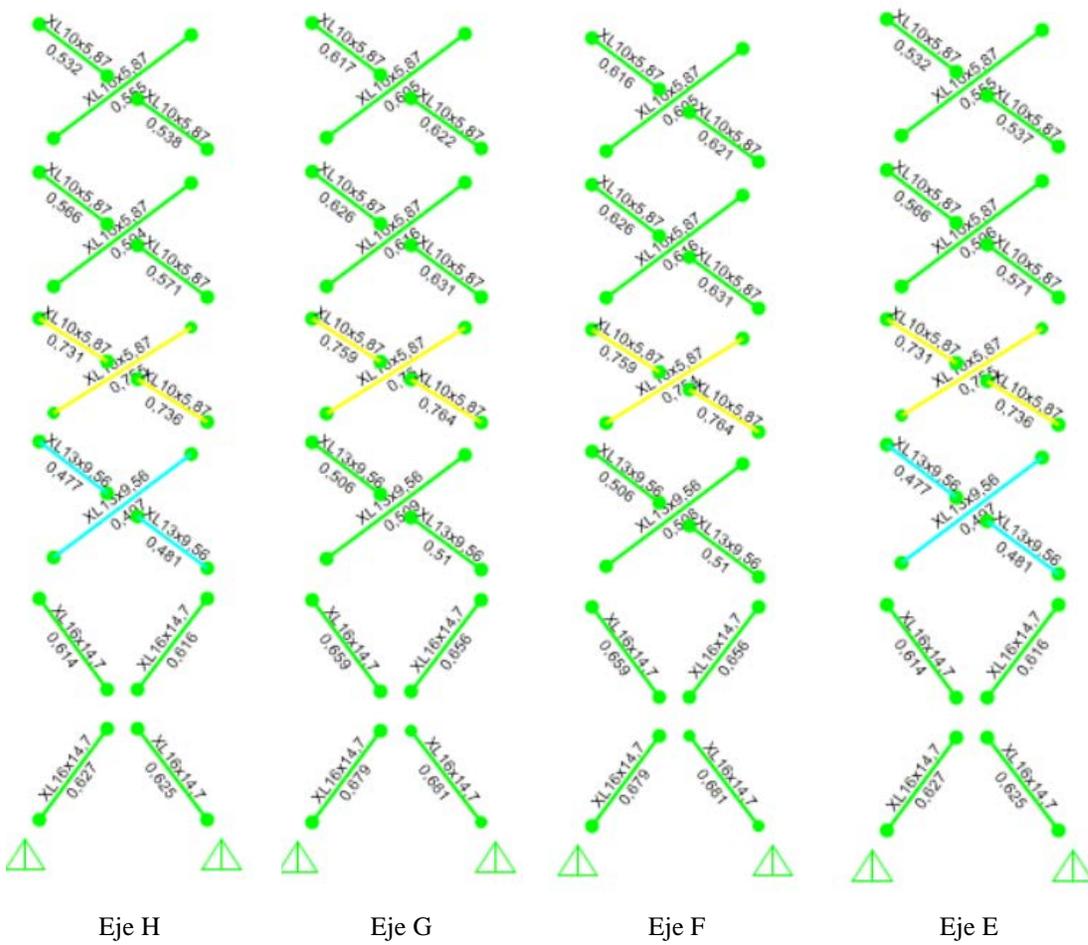


Figura VII.10: Caso 1 – Diagonales más solicitadas vigas H, G, F y E.

### VII.1.7 Verificación de desplazamientos.

Finalmente se realiza la verificación de los desplazamientos verticales y laterales máximos considerando las amplificaciones de las cargas sísmicas necesarias para obtener al menos la demanda sísmica mínima, según lo establecido en el capítulo 6 de la NCh2369.

#### Desplazamientos Laterales.

Tabla VII.11: Caso 1 - Desplazamientos Máximos.

LC	Dir.	Ubicación	H [m]	D <sub>adm</sub> [mm]	U <sub>x</sub> y U <sub>y</sub> [mm]	Status
LC8: DL + Po - EX	X	1er nivel	2,65	39,75	11,2	OK
LC8: DL + Po - EX	X	2do nivel	5,3	79,5	24,7	OK
LC8: DL + Po - EX	X	3er nivel	8,3	124,5	29,9	OK
LC8: DL + Po - EX	X	4to nivel	10,8	162	47,4	OK
LC8: DL + Po - EX	X	5to nivel	13,8	207	68,9	OK
LC8: DL + Po - EX	X	6to nivel	16,8	252	91,9	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	1er nivel	2,65	39,75	6,3	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	2do nivel	5,3	79,5	12,6	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	3er nivel	8,3	124,5	18,6	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	4to nivel	10,8	162	23,3	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	5to nivel	13,8	207	27,3	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	6to nivel	16,8	252	30,1	OK

De acuerdo a los resultados obtenidos se cumple la condición del desplazamiento máximo

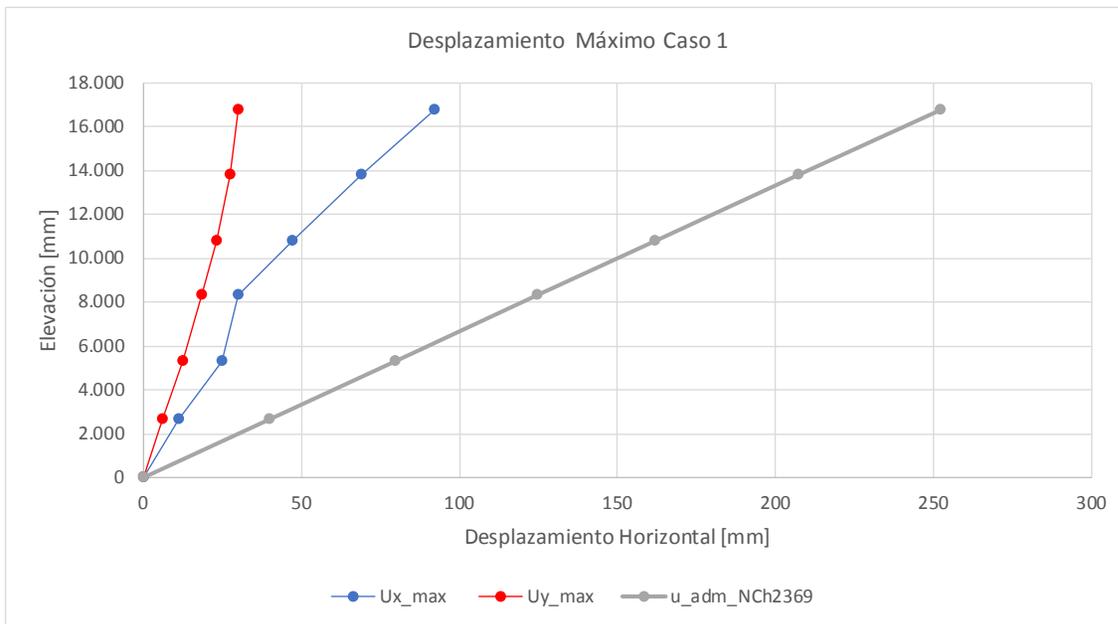


Gráfico VII.2: Desplazamiento Horizontal Máximo.

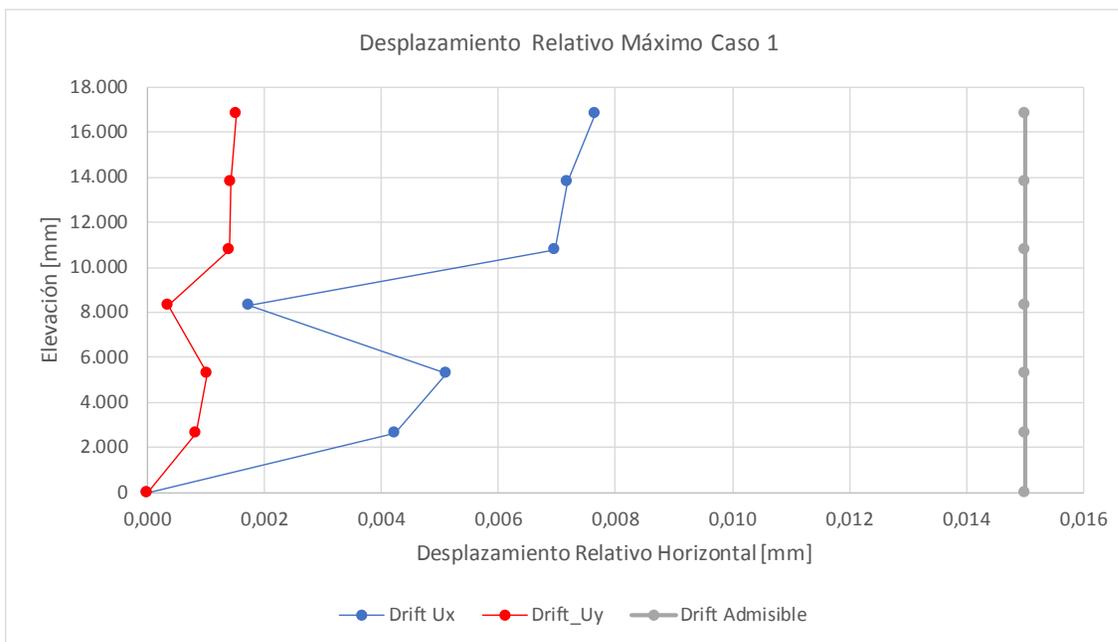


Gráfico VII.3: Desplazamiento Máximo Relativo.

La discontinuidad en el drift y desplazamiento máximo en la elevación a 8 metros, se debe a que ese nivel cuenta con una mayor cantidad de arriostramientos verticales (tres) a diferencia del resto de los niveles que cuenta con solo un arriostramiento vertical.

## Desplazamiento Vertical.

El desplazamiento vertical máximo se produce en el nivel 10.800, en específico en la viga donde se apoya la tolva.

Tabla VII.12: Caso 1 - Desplazamiento Vertical Máximo.

Comb	Nodo	DespAbsoluto [cm]	DespApoyos [cm]	DespRelativo [cm]	Largo [cm]	D <sub>adm</sub> [cm]	Estado
LC9	N333	19,78	-10,2	9,58	400	11,1	Ok

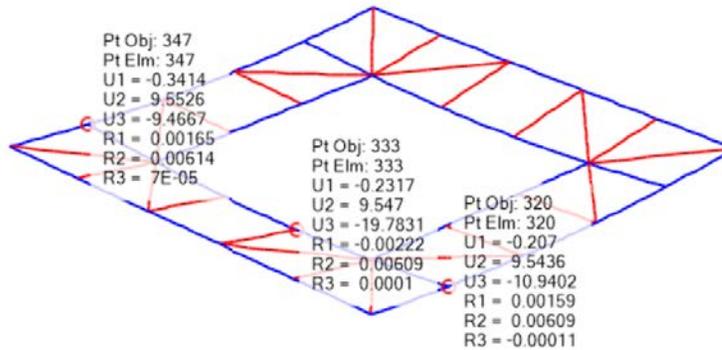


Figura VII.11: Plataforma nivel 10.800, zona apoyo de la tolva.

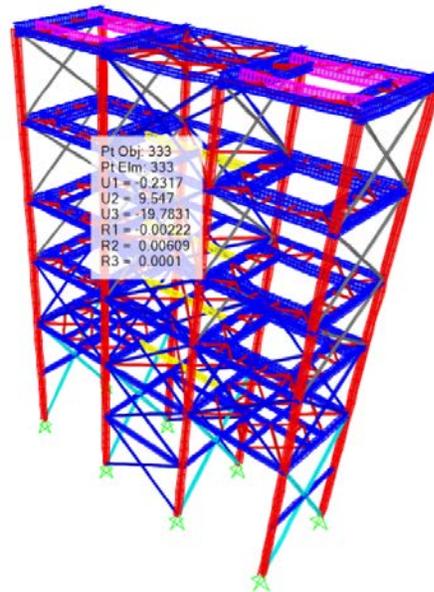


Figura VII.12: Lugar de ubicación punto de mayor deflexión.

**Peso de la Estructura:** 21,2 ton.

### VII.1.8 Checklist cumplimiento NCh2369:2003.

Punto	Extracto Norma	Estatus
8.3.1	No se permiten diagonales que solo trabajen a tracción	Se Cumple
8.3.2	En una línea resistente cualquiera debe existir diagonales que trabajan en tracción y compresión. La resistencia proporcionada para las diagonales traccionadas, para cada sentido de la acción sísmica, debe ser como mínimo un 30% del esfuerzo de corte de la línea resistente en el nivel correspondiente	Se Cumple
8.3.3	Los elementos de Sistema sismorresistentes vertical que trabajen en compresión, deben tener relaciones ancho/espesor menor que $\lambda_r$ según tabla 8.1. La esbeltez global del elemento debe ser menor que $\lambda_r \leq 1,5\pi \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	Se Cumple
8.3.4	Las diagonales en X deben conectar en el punto de cruce. Dicho punto se podrá considerar como fijo en la dirección perpendicular al plano de las diagonales para los efectos de determinar la longitud de pandeo de la pieza (en ambos ejes), cuando una diagonal sea continua	Se cumple en el modelo.
8.3.5	Punto que impone condiciones arriostramientos en V o V invertida.	No Aplica
8.3.6	El esfuerzo sísmico en las diagonales comprimidas, debe ser menor o igual al 80% de la capacidad resistente definida en las especificaciones de diseño de acero (combinaciones con cargas eventuales sísmicas).	Se cumple FU diagonales menos al 80%.
8.3.7	No se permite disponer de arriostramientos sísmicos en K.	No Aplica

## VII.2 Resultados Diseño Caso 2.

Respecto a una de las mayores diferencias entre la NCh2369 vigente y el anteproyecto de norma, es que no existe un límite máximo de utilización de las diagonales sísmicas de un 80%, sin esta restricción se permite que alcances valores cercanos a 100% logrando un comportamiento más dúctil. Si bien el anteproyecto, relaja esta restricción, centra su atención en el detallamiento de las conexiones. En base a lo anterior, se procede a iterar optimizando las dimensiones de las diagonales.

### VII.2.1 Perfiles Utilizados.

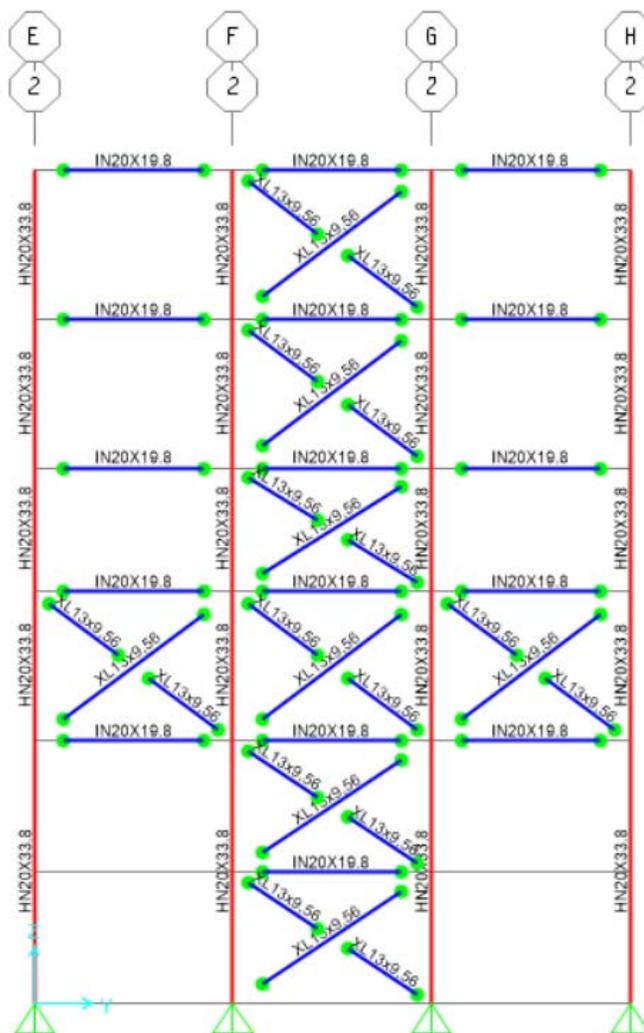


Figura VII.13: Elevación perfilaría eje 1 y eje 2.

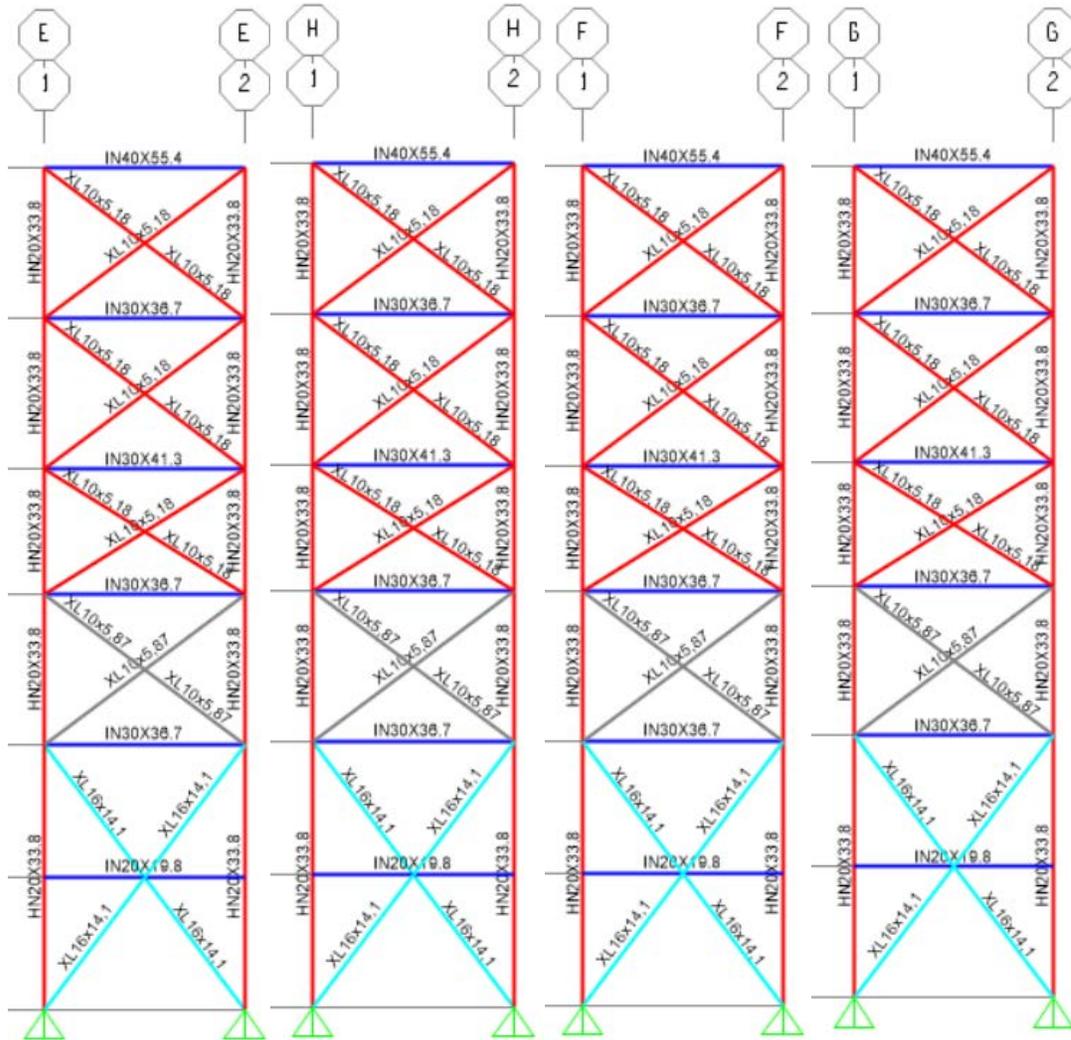


Figura VII.14: Perfilarías Eje E, F, G y H.

La Tabla VII.13 resume los perfiles y propiedades de cada elemento estructural utilizado en la estructura del Caso 2.

Tabla VII.13: Caso 2 - Esbeltez global y local.

Tipo de Elemento	PERFIL	B [mm]	t <sub>f</sub> [mm]	H [mm]	t <sub>w</sub> [mm]	r <sub>x</sub> [cm]	r <sub>y</sub> [cm]	L <sub>px.max</sub> [m]	L <sub>py.max</sub> [m]	Esbeltez Global		Esbeltez Local					
										λ <sub>x</sub>	λ <sub>y</sub>	b/t <sub>f</sub>	λ <sub>r.ala</sub>	EST Ala	h/t <sub>w</sub>	λ <sub>r.alma</sub>	EST Alma
Columnas	HN20X33,8	200	6	200	8	8,71	4,98	5,3	2,7	122	106	16,7	16,1	E	23,5	42,9	NE
Vigas	IN20X19,8	100	5	200	8	8,3	2,3	4,0	2,4	48	104	10	16,1	NE	23,8	42,9	NE
	IN30X36,7	150	6	300	10	12,6	3,47	4,0	0,8	32	23	12,5	15,9	NE	28,8	42,9	NE
	IN40X49,3	200	6	400	10	16,9	4,61	4,0	0,8	24	17	16,7	14,8	E	38,8	42,9	NE
	IN40X55,4	200	6	400	12	17,1	4,76	4,0	1,6	23	34	16,7	15,5	E	32,3	42,9	NE
Riostras	XL16x14,1	160	6,0	160	6,0	3,18	3,82	3,3	3,3	79	65	11,3	13,0	NE	11,3	13,0	NE
	XL13x9,56	130	5,0	130	5,0	2,58	3,16	2,4	2,4	93	76	11,0	13,0	NE	11,0	13,0	NE
	XL13x9,56	130	5,0	130	5,0	2,58	3,16	2,5	2,5	97	79	11,0	13,0	NE	11,0	13,0	NE
	XL10x5,87	100	4,0	100	4,0	1,99	2,50	2,5	2,5	126	100	10,5	13,0	NE	10,5	13,0	NE
	XL10x5,18	100	3,5	100	3,5	1,99	2,47	2,5	2,5	126	101	12,3	13,0	NE	12,3	13,0	NE

Donde:

$$\text{Esbeltez Global según NCh2369: } \lambda_{adm} = 1,5 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,8$$

Clasificación según tipo de esbeltez local:

C: Elemento Compacto

NC: Elemento No Compacto

NE: No Esbelto

E: Esbelto.

## VII.2.2 Periodo de la Estructura.

Los modos que presentan una mayor participación modal son los modos 1 y 2 asociados a los modos en las dos direcciones ortogonales horizontales. Considerando los 20 modos, la participación modal es superior al 90%, tal como lo indicado en la NCh2369:2003.

Tabla VII.14: Caso 2 - Periodo y factor de participación modal.

Modo	Periodo (seg)	Participación Modal			Participación Modal Acumulada		
		Sum $u_x$	Sum $u_y$	Sum $u_z$	Sum $u_x$	Sum $u_y$	Sum $u_z$
1	0,68	87%	0%	0%	87%	0%	0%
2	0,67	0%	86%	0%	87%	86%	0%
3	0,48	0%	0%	0%	87%	86%	0%
4	0,23	0%	0%	62%	87%	86%	62%
5	0,23	0%	3%	0%	87%	89%	62%
6	0,21	0%	9%	0%	87%	98%	62%
7	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
8	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
9	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
10	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
11	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
12	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
13	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
14	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
15	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
16	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
17	0,20	0%	0%	0%	87%	98%	62%
18	0,20	0%	1%	0%	87%	98%	62%
19	0,19	1%	0%	18%	88%	98%	80%
20	0,19	4%	0%	4%	92%	98%	83%

### VII.2.3 Corrección por Corte Mínimo.

A continuación, se verifica el corte considerando la restricción de corte mínimo indicado en la norma, a través de la siguiente ecuación.

$$Q_{min} = 0,25 I \frac{A_0}{g} P = 0,12 P$$

El periodo fundamental de la dirección “X” corresponde a 0,68 seg y para la dirección “Y” a 0,67 seg, ambas pseudo-aceleraciones están sobre el mínimo, siendo la de la dirección “X” cercana a la mínima, tal como se observa en el Gráfico VII.1.

De acuerdo a lo indicado en la Tabla VII.15 no se requiere corregir por corte.

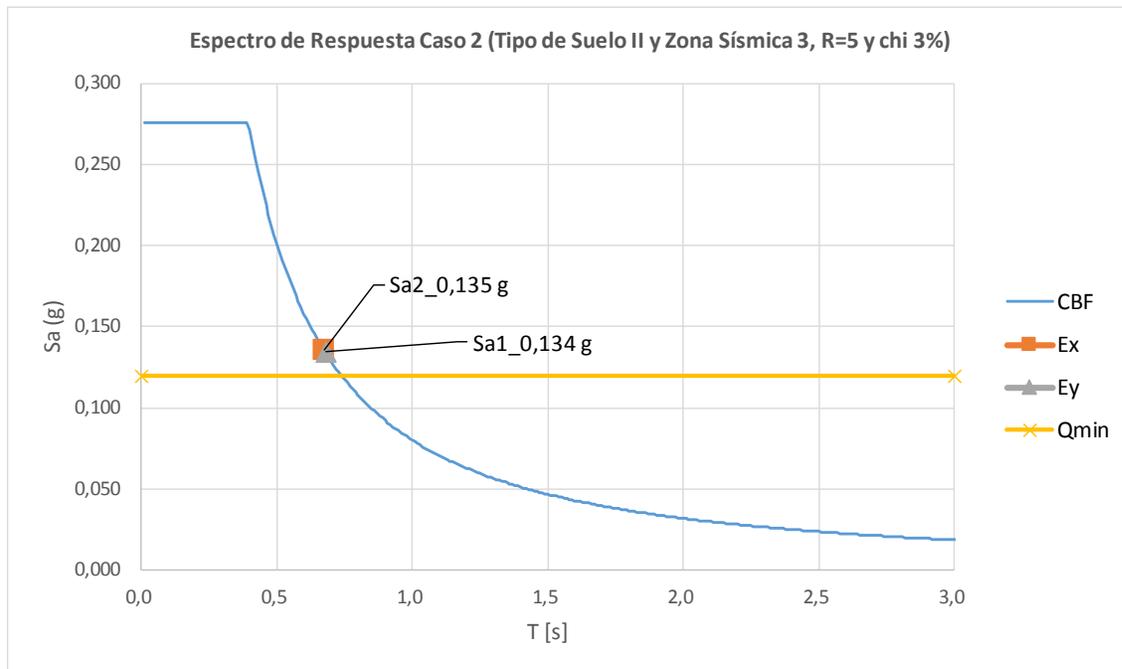


Gráfico VII.4: Espectro CBF y Periodos Fundamentales.

Tabla VII.15: Caso 2 - Verificación del Corte Mínimo.

Dirección	Corte Q [ton]	Corte Mín (Qmin)	Qmin/Q
Ex	26,4 ton	26,0 ton	< 1, no corregir
Ey	26,03 ton	26,0 ton	< 1, no corregir

## VII.2.4 Verificación de las Columnas.

La columna más solicitada mediante un análisis ASD son las columnas centrales a nivel de piso, éstas tienen un factor de utilización de 0,84.

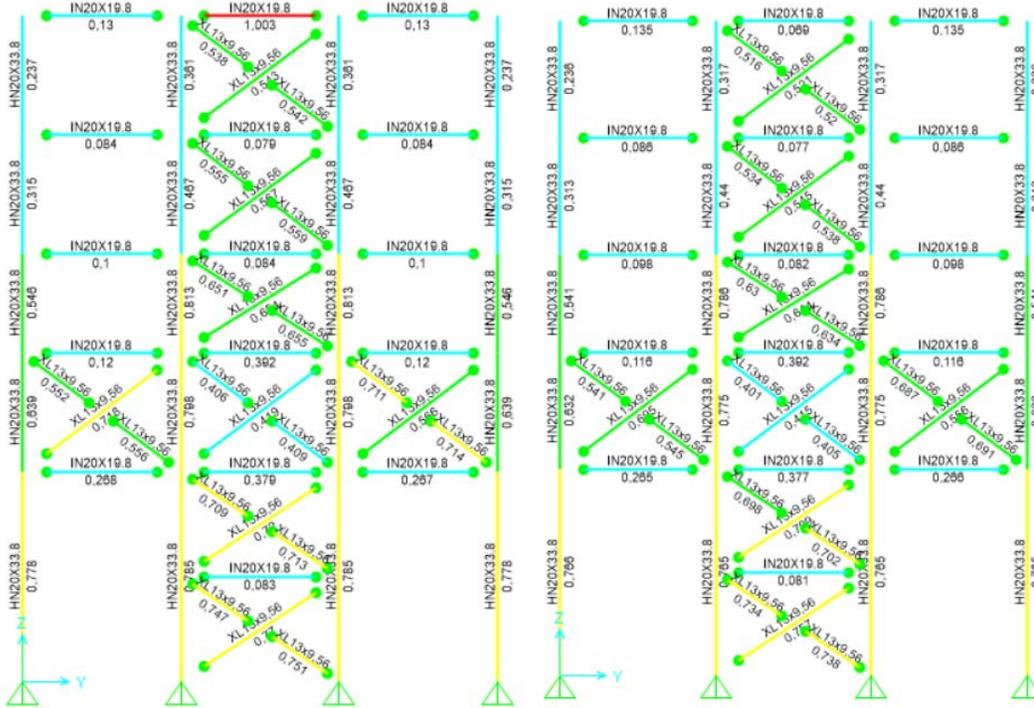


Figura VII.15: Caso 1: Columnas más solicitada.

Tabla VII.16: Caso 2 - Solicitación máxima axial en columnas.

Perfil 1 HN20x33.8	Solicitación			Nominal			FU
	P <sub>r</sub> [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω	M <sub>33n</sub> /Ω	M <sub>22n</sub> /Ω	
LC10	-41,47	-0,216	0,011	-56,17	4,796	1,574	0,785

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)

$$D/C \text{ Ratio: } 0,785 = 0,738 + 0,040 + 0,006$$

$$= (P_r/P_c) + (8/9)(M_{r33}/M_{c33}) + (8/9)(M_{r22}/M_{c22})$$

## VII.2.5 Verificación de Vigas.

Las vigas más solicitadas son las que soportan las tolvas, considerando que la carga vertical de la tolva es tomada en 2 niveles, con 4 puntos de apoyo por nivel, son las que se presentan en la siguiente Figura.

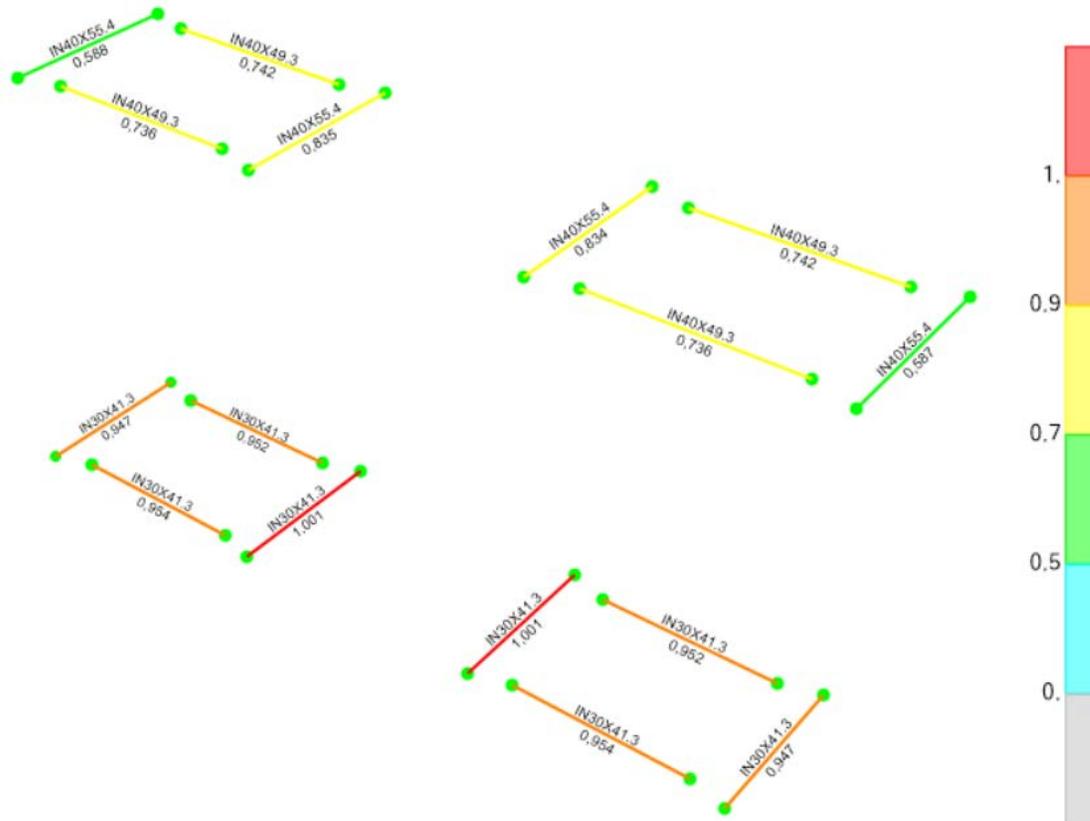


Figura VII.16: Caso 2 – Solicitación máxima vigas de apoyo de la tolva.

Tabla VII.17: Caso 2 - Solicitación máxima en vigas IN30x41,3.

Perfil 1 IN30x41,3 VE3.2	Solicitación			Nominal			FU
	Pr [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC10	1,911	8,896	0,128	73,148	9,594	2,076	1,0

$$D/C \text{ Ratio: } 1,001 = 0,012 + 0,927 + 0,062$$

$$= (1/2) (Pr/Pe) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$$

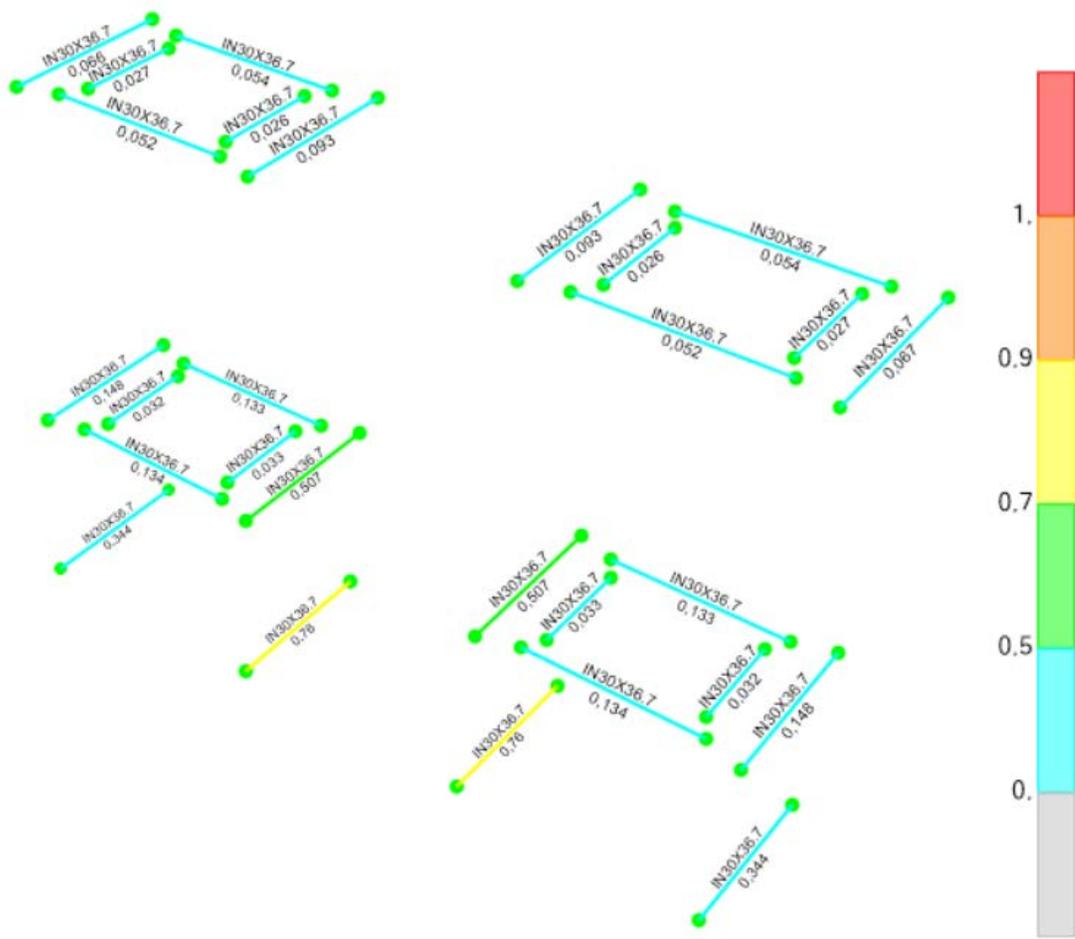


Figura VII.17: Solicitación máxima en vigas IN30x36,7.

Tabla VII.18: Caso 2 – Solicitación máxima vigas IN30x36,7.

Perfil 1 IN30x36,7 VE1.3	Solicitación			Nominal			FU
	P <sub>r</sub> [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC2	5,564	5,274	-0,160	61,617	8,381	1,743	0,76

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2, H1-1b)  
D/C Ratio: 0,760 = 0,039 + 0,629 + 0,092  
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

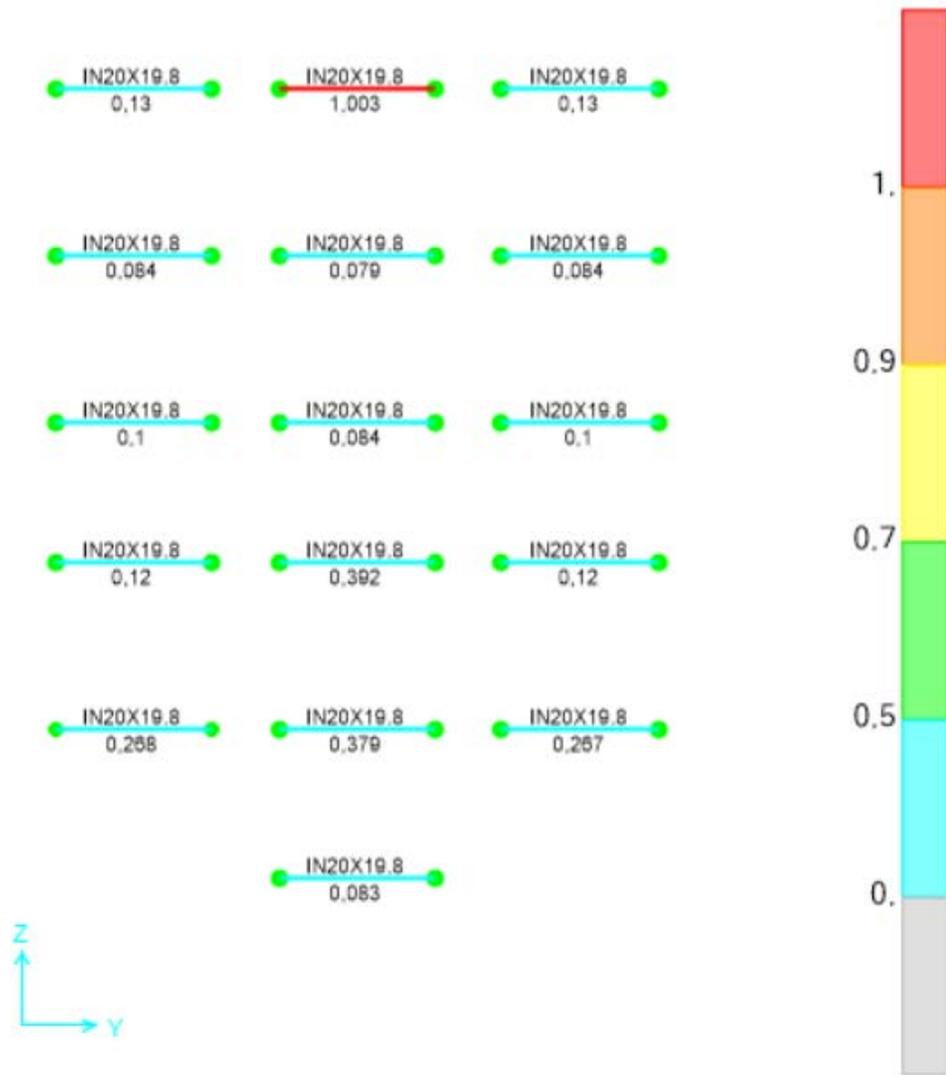


Figura VII.18: Solicitación máxima en vigas IN20x19,8.

Tabla VII.19: Caso 2 – Solicitación máxima vigas IN20x19,8.

Perfil 1 IN30x36,7 VS5.2	Solicitud			Nominal			FU
	Pr [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC2	1,084	2,611	0,0	25,704	2,636	0,623	1,0

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2, H1-1b)  
D/C Ratio:  $1,003 = 0,014 + 0,988 + 0,001$   
 $= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$

## VII.2.6 Verificación de las Riostras.

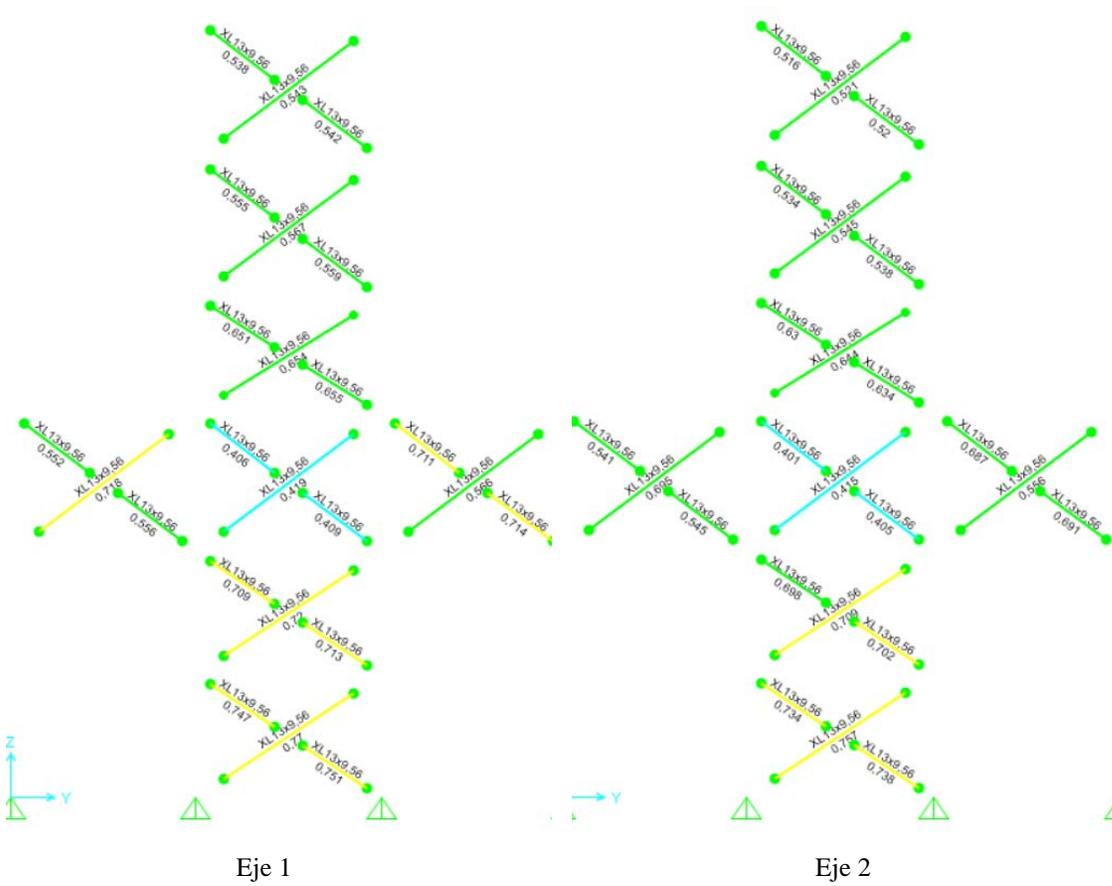


Figura VII.19: Solicitación máxima en diagonales Ejes 1 y 2.

Tabla VII.20: Caso 2 – Solicitación máxima diagonales XL13x9,56.

Perfil 1 XL13x9,56 RVS1.2	Solicitación			Nominal			FU
	P <sub>r</sub> [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC10	-9,38	-0,01	0,00	13,17	0,234	0,234	0,77

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)  
D/C Ratio: 0,770 = 0,712 + 0,057 + 0,000  
= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

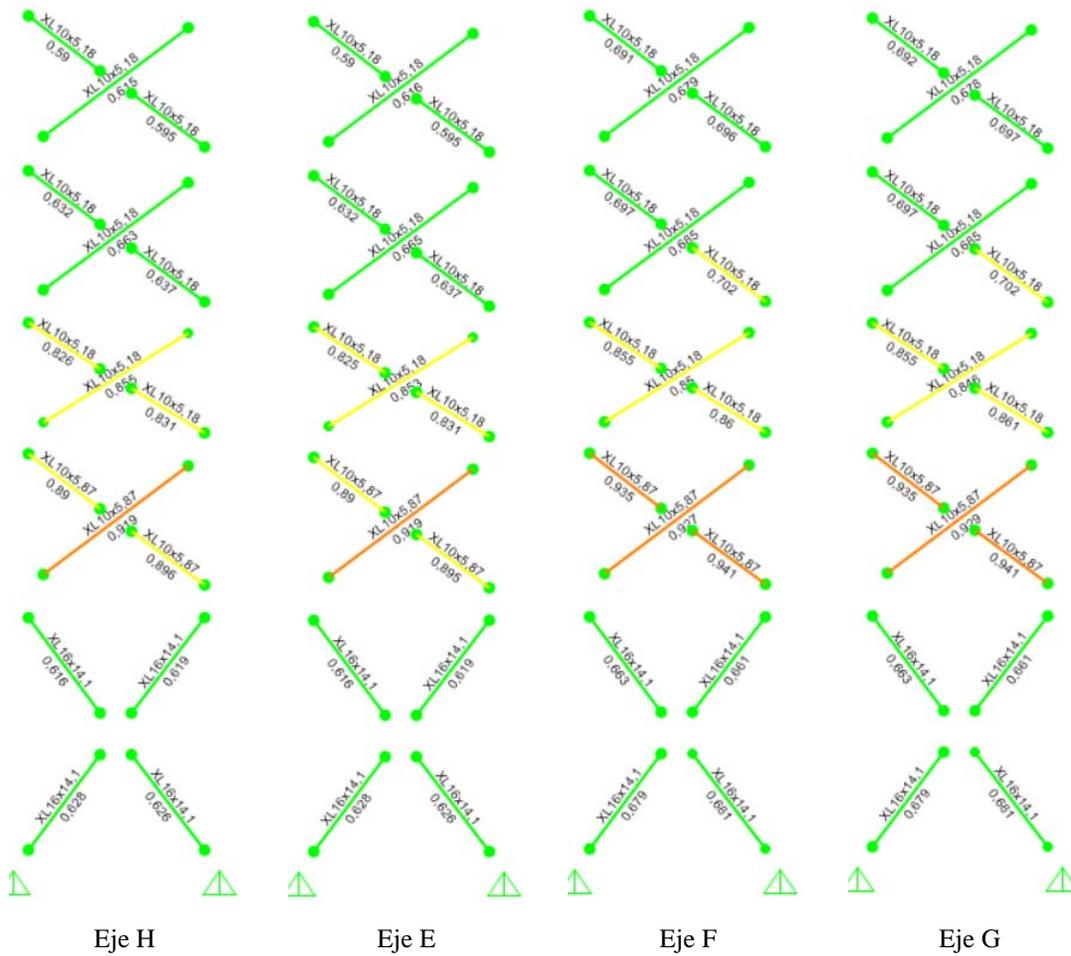


Figura VII.20: Solicitación máxima en diagonales Ejes H, E, F y G.

Tabla VII.21: Caso 2 – Solicitación máxima diagonales XL10x5,18

Perfil 1 XL10x5,18 68	Solicitación			Nominal			FU
	P <sub>r</sub> [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC8	-4,66	0,003	0,00	5,864	0,102	0,102	0,86

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)

$$D/C \text{ Ratio: } 0,861 = 0,795 + 0,065 + 0,000$$

$$= (P_r/P_c) + (8/9) (M_{r33}/M_{c33}) + (8/9) (M_{r22}/M_{c22})$$

Tabla VII.22: Caso 2 – Solicitación máxima diagonales XL10x5,87.

Perfil 1 XL10x5,87 59	Solicitud			Nominal			FU
	P <sub>r</sub> [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC8	-5,4	0,004	0,00	6,253	0,116	0,116	0,94

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)

$$D/C \text{ Ratio: } 0,947 = 0,879 + 0,068 + 0,000$$

$$= (P_r/P_c) + (8/9) (M_{r33}/M_{c33}) + (8/9) (M_{r22}/M_{c22})$$

Tabla VII.23: Caso 2 – Solicitación máxima diagonales XL16x14,1.

Perfil 1 XL16x14,1 49	Solicitud			Nominal			FU
	P <sub>r</sub> [ton]	M <sub>33</sub> [ton m]	M <sub>22</sub> [ton m]	P <sub>n</sub> /Ω [ton]	M <sub>33n</sub> /Ω [ton m]	M <sub>22n</sub> /Ω [ton m]	
LC8	-11,48	0,012	0,000	17,97	0,436	0,436	0,681

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)

$$D/C \text{ Ratio: } 0,681 = 0,639 + 0,042 + 0,000$$

$$= (P_r/P_c) + (8/9) (M_{r33}/M_{c33}) + (8/9) (M_{r22}/M_{c22})$$

## VII.2.7 Verificación de desplazamientos.

Finalmente se realiza la verificación de los desplazamientos verticales y laterales máximos considerando las amplificaciones de las cargas sísmicas necesarias para obtener al menos la demanda sísmica mínima, según lo establecido en el capítulo 6 de la NCh2369.

### Desplazamientos Laterales.

Tabla VII.24: Caso 2 - Desplazamientos Máximos.

LC	Dir.	Ubicación	H [m]	D <sub>adm</sub> [mm]	U <sub>1</sub> y U <sub>2</sub> [mm]	Status
LC8: DL + Po - EX	X	1er nivel	2,65	39,75	11,2	OK
LC8: DL + Po - EX	X	2do nivel	5,3	79,5	24,7	OK
LC8: DL + Po - EX	X	3er nivel	8,3	124,5	29,9	OK
LC8: DL + Po - EX	X	4to nivel	10,8	162	47,3	OK
LC8: DL + Po - EX	X	5to nivel	13,8	207	68,9	OK
LC8: DL + Po - EX	X	6to nivel	16,8	252	92,0	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	1er nivel	2,65	39,75	6,2	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	2do nivel	5,3	79,5	12,5	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	3er nivel	8,3	124,5	18,5	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	4to nivel	10,8	162	23,4	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	5to nivel	13,8	207	27,4	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	6to nivel	16,8	252	30,2	OK

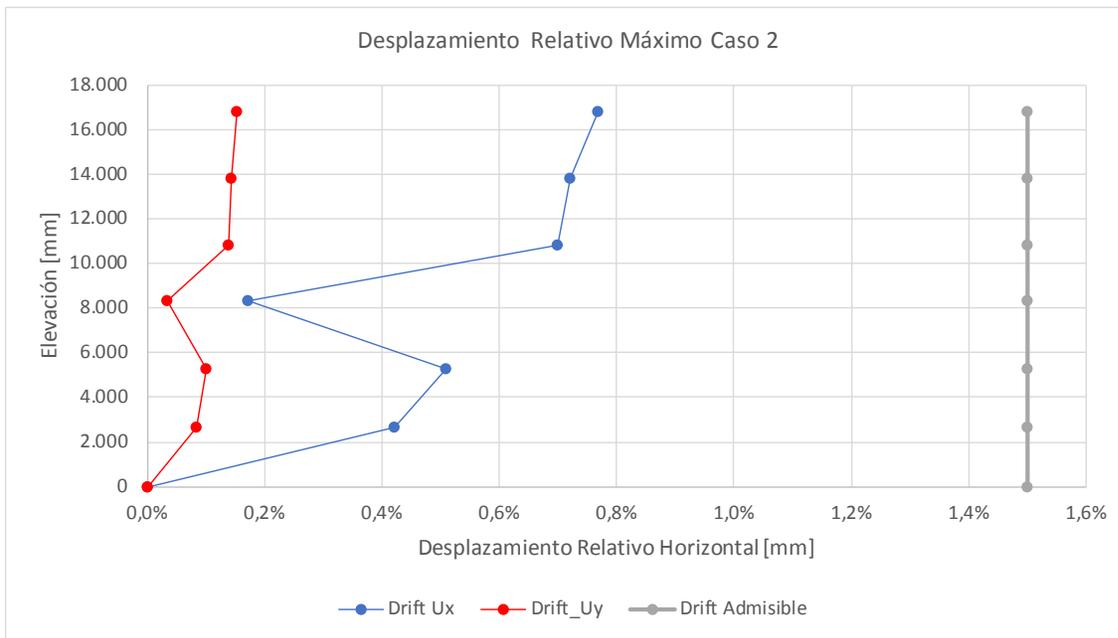


Gráfico VII.5: Desplazamiento Máximo Relativo.

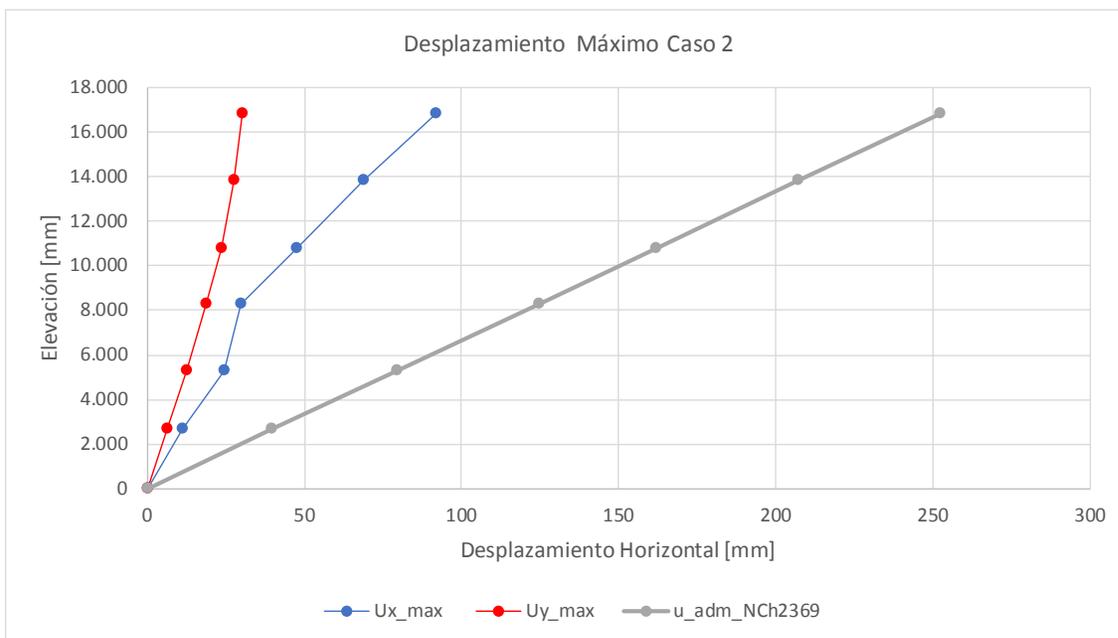


Gráfico VII.6: Desplazamiento Horizontal Máximo.

La discontinuidad en el drift y desplazamiento máximo en la elevación 8 metros, se debe a que ese nivel cuenta con una mayor cantidad de arriostramientos (tres) a diferencia del resto de los niveles que cuenta con solo un arriostramiento.

## Desplazamiento Vertical.

El desplazamiento vertical máximo se produce en el nivel 10.800, viga donde se apoya la tolva.

Tabla VII.25: Caso 2 - Desplazamiento Vertical Máximo.

Comb	Nodo	DespAbsoluto [cm]	DespApoyos [cm]	DespRelativo [cm]	Largo [cm]	D <sub>adm</sub> [cm]	Estado
LC9	N333	19,8	10,2	9,6	400	11,1	Ok

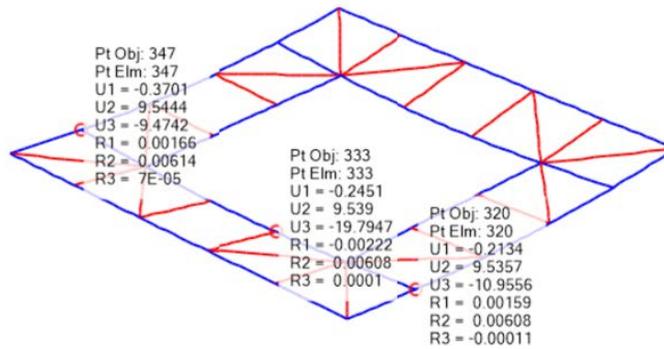


Figura VII.21: Plataforma nivel 10.800 mm, zona apoyo de la tolva.

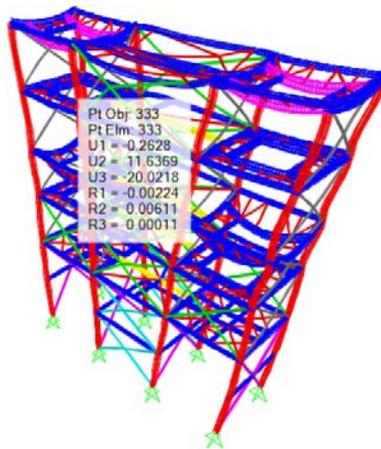


Figura VII.22: Lugar de ubicación punto de mayor deflexión.

**Peso de la Estructura:** 21,05 ton.

## VII.2.8 Checklist cumplimiento de Anteproyecto de norma NCh2369.

A completar con último documento vigente.

Punto	Extracto Norma	Estatus
8.6.1	No se permiten sistemas de arriostramiento con elementos que solo resisten tracción, excepto en los caso de naves de acero livianas.	Cumple
8.6.2	En una línea resistente cualquiera, para cada nivel, la resistencia proporcionada por las diagonales traccionadas, para cada sentido de la acción sísmica, deben ser como mínimo un 30% del esfuerzo de corte total en esa línea.	Cumple
8.6.3	Los elementos sismorresistentes de planos verticales que trabajen en compresión, deben tener razones ancho/espesor, menores que el valor $\lambda_r$ establecido en la Tabla 8.1. La esbeltez global de estos elementos debe ser menor que $1,5\pi \sqrt{E/F_y}$	Cumple
8.6.4	Las diagonales en X se deben conectar en el punto de cruce. Dicho punto se podrá considerar como fijo en la dirección perpendicular al plano de las diagonales para los efectos de determinar la longitud de pandeo de la pieza comprimida cuando la otra diagonal este traccionada y una de las diagonales sea continua en el cruce.	Cumple
8.6.5	No se permite disponer arriostramientos sísmicos en K, en que las diagonales se intersectan en un punto intermedio de la columna.	No Aplica a la estructura analizada.
8.6.6	Disposición para V o V invertida.	No Aplica a la estructura analizada.
8.6.7	Disposición de diseño de conexión viga y diagonales.	No aplica al tema analizado.
8.6.8	Disposición de conexiones de puntales y diagonales sísmicas.	No Aplica el tema tratado.
8.6.9	Disposición de conexiones de diagonales sismorresistentes en marcos arriostrados	No aplica al tema tratado.

Tal como se observa en el checklist anterior, se suprime el requerimiento que las diagonales sísmicas deban ser diseñadas hasta un factor de utilización de un 80%.

## VII.3 Resultados Diseño Caso 3.

### VII.3.1 Solicitación.

Considerando que aún no existe un procedimiento formal ni una normativa que condicione el diseño de las BRB en Chile, se propone un diseño que de acuerdo a la bibliografía proveniente de AISC y *Steel Tips*. Para lo anteriormente mencionado se considera un factor de reducción  $R = 5$  y un amortiguamiento crítico de 0,05.

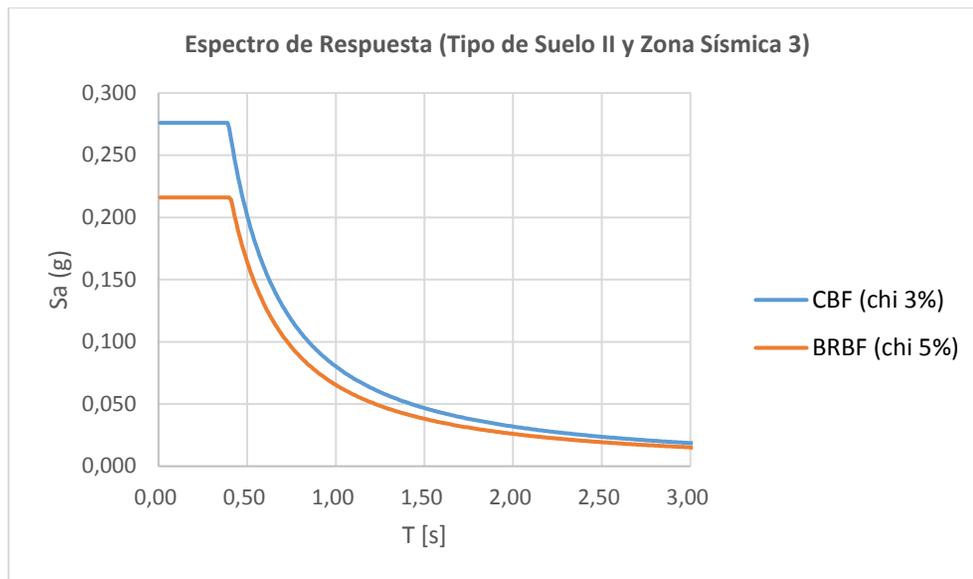


Figura VII.23: Espectro de diseño Caso 3.

### VII.3.2 Estructuración.

Considerando que las BRB cuentan con un excelente comportamiento tensión/compresión, la energía disipada en compresión es similar a la de tracción, gracias al efecto de confinamiento del núcleo de acero.

La estructuración de las diagonales cambia respecto al diseño de las riostras convencionales en cruz, donde un extremo de la cruz toma la tracción y la otra la compresión frente a una sollicitación, dado que las riostras convencionales poseen baja capacidad a compresión en comparación de la tracción que pueden resistir. Los elementos

BRB permiten cambiar las diagonales en cruz por un solo elemento unidireccional que confiere las propiedades de compresión y tracción requeridas para controlar los desplazamientos.

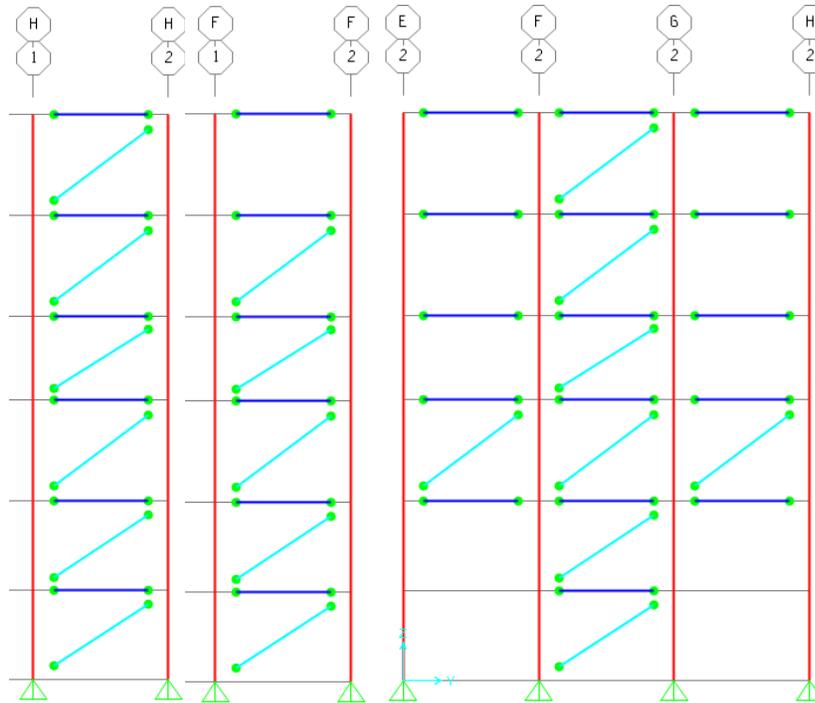


Figura VII.24: Estructuración de los BRB.

Como primer paso se considera lo siguiente:

- Se verifica que el corte sea mayor que el mínimo.
- Se crean secciones cajón y se modifica el área hasta lograr que los factores de utilización sean mayores a un 90%. Se considera aceptable si el 80% es superior al 90% y el 100% de los elementos sean superiores al 70%.
- Luego se verifica que la columna sea capaz de resistir la compresión axial de la carga estática y las cargas de los BRB fluyendo en una dirección.

- Luego se vuelve a repetir los pasos anteriores con la nueva columna hasta converger no realizando más cambios de secciones.

### VII.3.3 Perfiles Utilizados.

Se observa que existe un cambio de columna a partir de los niveles 3 en adelante. Además, las columnas exteriores son de menor tamaño que las internas. Para el diseño de las BRB se privilegió que tuvieran una dimensión similar por piso.

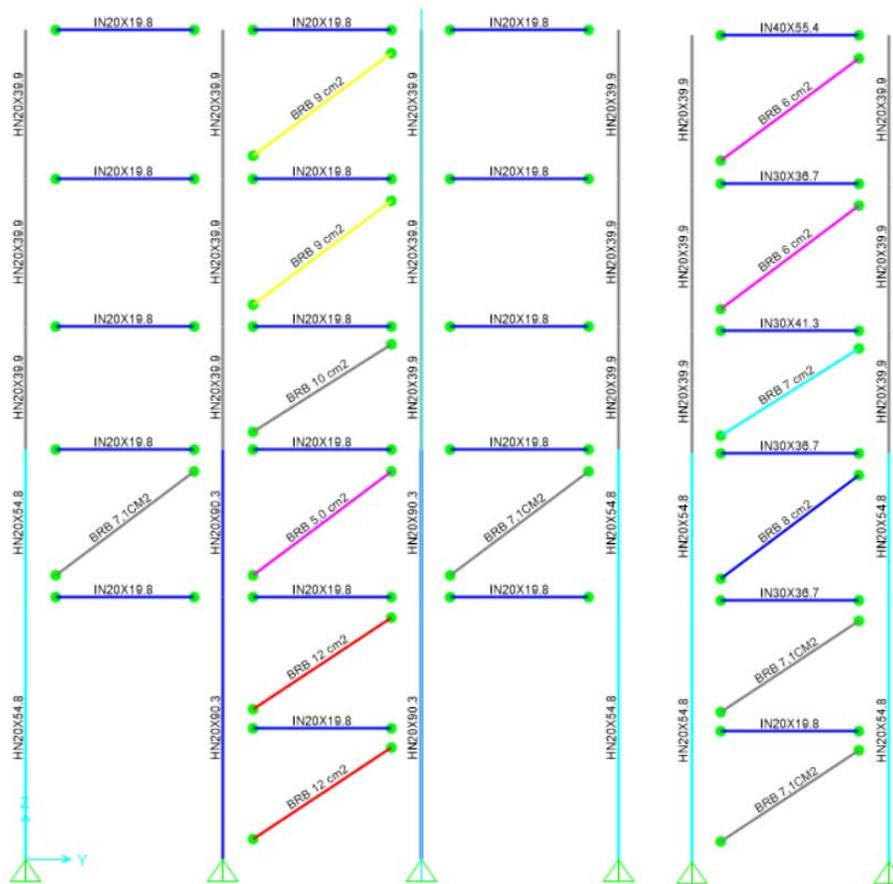


Figura VII.25: Estructuración Caso 3.

### VII.3.4 Corrección por Corte Mínimo.

A continuación, se verifica el corte considerando la restricción de corte mínimo indicado en la norma, a través de la siguiente ecuación.

$$Q_{min} = 0,25 I \frac{A_0}{g} P = 0,12 P$$

Dado que el corte mínimo en ambas direcciones es superior al corte obtenido del análisis se procede a corregir 1,39 en la dirección de “X” y 1,55 en la dirección de “Y”.

Finalmente, el periodo fundamental de la dirección “X” corresponde a 0,81 seg y para la dirección “Y” a 0,88 seg, ambas pseudo-aceleraciones modales están sobre el mínimo, siendo la de la dirección “X” muy cercana a la mínima, tal como se observa en Gráfico VII.1.

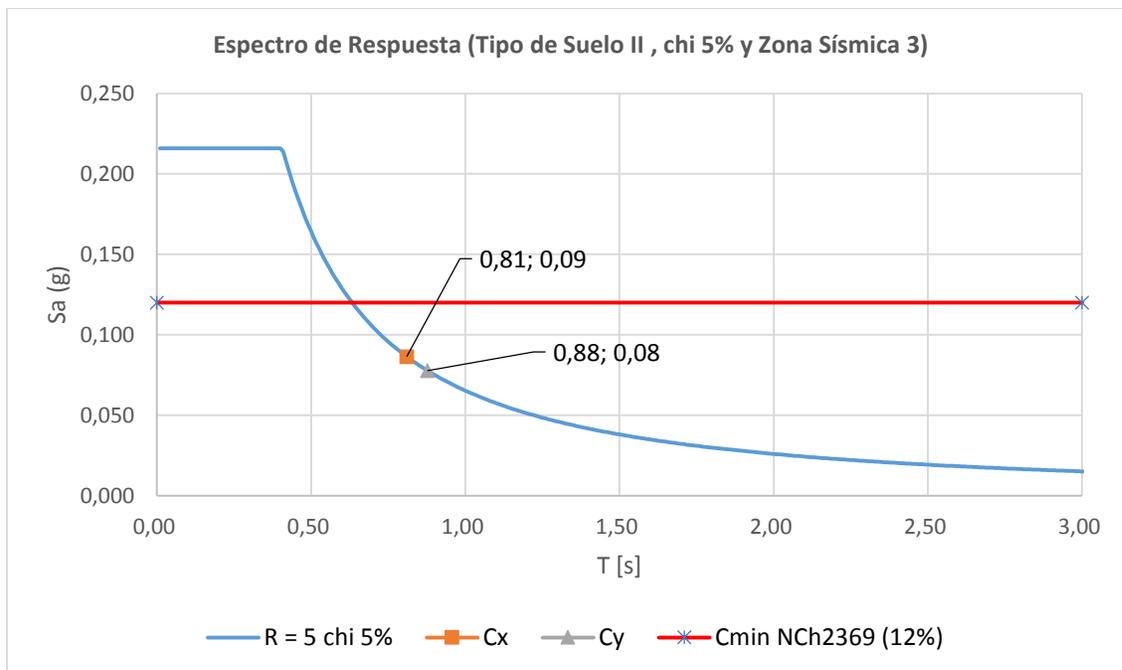


Gráfico VII.7: Espectro CBF y Periodos Fundamentales.

De acuerdo a lo indicado en la tabla a continuación, una vez aplicado los factores de corrección el corte es superior al mínimo.

Tabla VII.26: Verificación del Corte Mínimo Caso 3.

Dirección	Corte $Q_{\text{corregido}}$ [ton]	Corte Mín ( $Q_{\text{min}}$ )	$Q_{\text{min}}/Q$
$E_X$	26,6 ton	26,0 ton	< 1, no corregir
$E_Y$	26,2 ton	26,0 ton	< 1, no corregir

### VII.3.5 Verificación BRB Elásticas.

Para el diseño de los elementos BRB se consideran las recomendaciones del documento *Steel Tips Seismic Design of BRBF*, 2004 y ANS/AISC341-10. El procedimiento realizado corresponde a un prediseño que debe ser verificado por el vendor de los dispositivos, dado que los productos comerciales son secciones discretas, o bien, de catálogo que no necesariamente coinciden con los utilizados.

De acuerdo a los documentos de referencia, se recomienda realizar el prediseño mediante LRFD.

Los parámetros considerados para obtener el prediseño son los siguientes:

- Núcleo de acero      ASTM A36.
- Densidad del acero    7.850 kgf/m<sup>3</sup>
- Módulo de Young      2.040 tonf/cm<sup>2</sup>.
- Fluencia Nominal      2.531 kgf/cm<sup>2</sup>
- Ruptura nominal      4.077 kgf/cm<sup>2</sup>
- Largo de fluencia BRB se asume un 70%.

Como criterio de selección del área requerida por las BRB se considera que todas las diagonales deben estar de preferencia con un factor de utilización sobre el 90%, y todas deben estar sobre el 70%.

A partir de los valores mencionados y de las solicitaciones se obtienen los siguientes resultados respecto al dimensionamiento del núcleo de acero de las BRB.

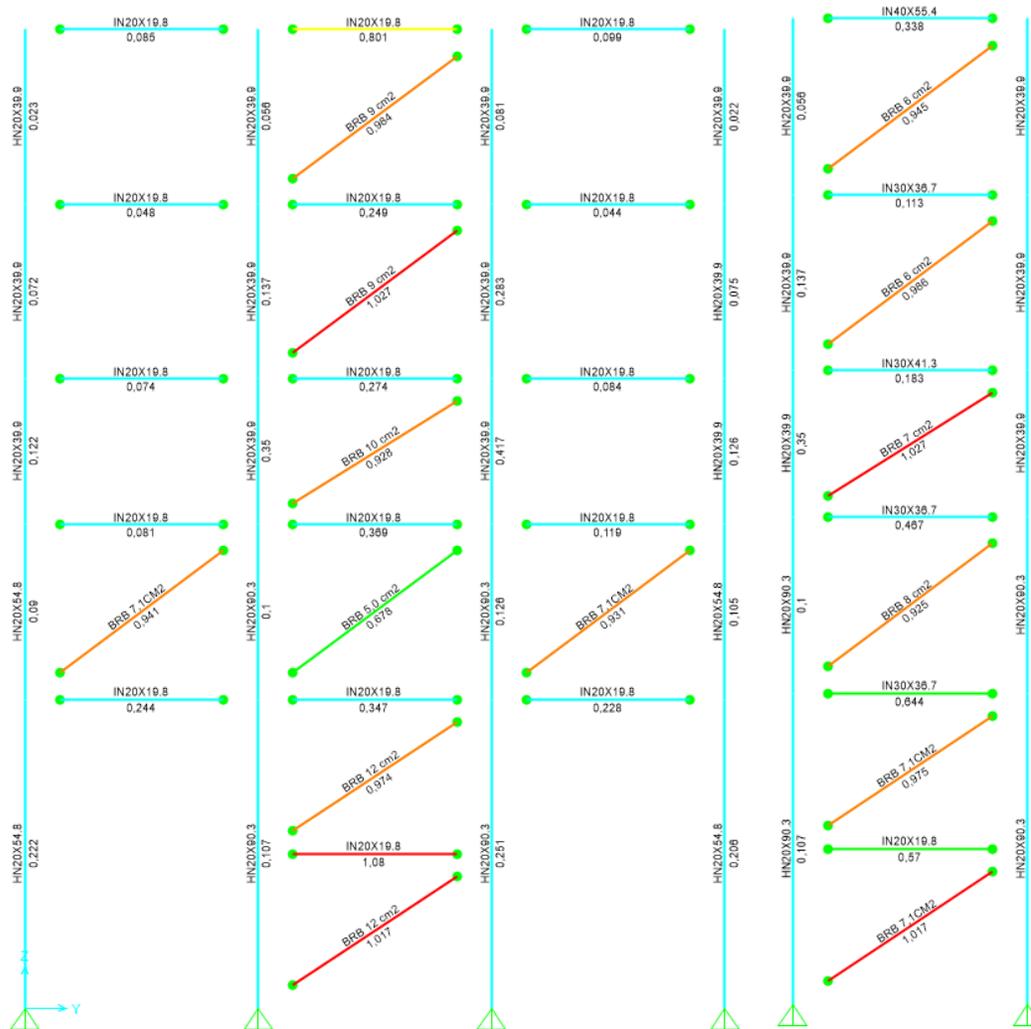


Figura VII.26: Factores de Utilización de las BRB.

### VII.3.6 Verificación de las Columnas.

Una vez obtenido el predimensionamiento de los dispositivos se verifica que las columnas tengan la capacidad requerida por los BRB fluyendo y las solicitaciones estáticas, bajo solicitaciones LRFD y realizando el siguiente equilibrio por nudo.

$$\begin{aligned} \phi P_n &\geq P_{u_{estático}} + P_{u_{BRB}} \\ \phi M_n &\geq M_{u_{estático}} + M_{u_{BRB}} \\ \phi V_n &\geq V_{u_{estático}} + V_{u_{BRB}} \end{aligned}$$

Donde:

$(P_u, M_u \text{ y } V_u)_{\text{estático}}$ : Demanda última LRFD considerando cargas estáticas.

$\Phi$ : Factor de reducción de la resistencia según el tipo de demanda.

$(P_u, M_u, V_u)_{\text{BRB}}$ : Demanda bajo fluencia simultánea de los dispositivos BRB.

En términos prácticos, se verifica que las columnas tengan la capacidad de carga axial para resistir la carga estática LRFD y la fluencia de todas las BRB en el plano. Para esta verificación se seleccionan dos columnas: una central y una exterior.

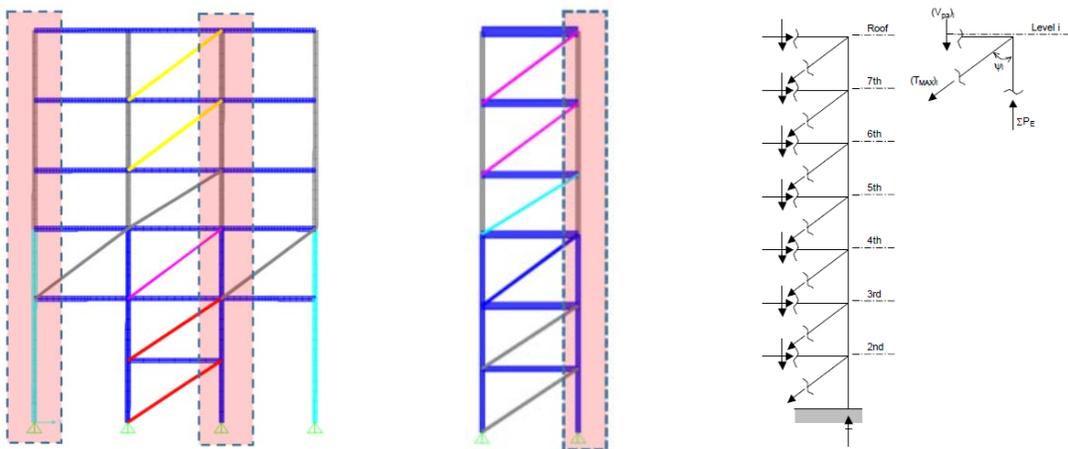


Figura VII.27: Columnas interior y exterior seleccionadas.

Se evalúan las cargas de cada nivel en la columna asociada a la combinación de cargas LRFD 1,2DL+1,6LL. Los resultados son los que se presentan a continuación.

Tabla VII.27: Verificación Columna Interior.

Frame	$P_{u\_est}$	$A_{BRB}$	Angulo	$P_u = T_u \cos\phi$	$P_{u\_acumulado}$	Perfil	$\phi P_n$	FU
Text	Ton	cm <sup>2</sup>	°	Ton	Ton	ICHA	Ton	
		9	53	-20,5	-20,5	HN20X39,9	86	24%
C7.5	-10,6	9	53	-20,5	-51,6	HN20X39,9	86	60%
C7.4	-11,4	10	58	-20,1	-83,1	HN20X39,9	86	97%
C7.3	-12,9	12,1	53	-27,6	-123,5	HN20x90,3	231	53%
C7.2	-18,6	12	56	-25,2	-167,3	HN20x90,4	231	72%
C7.1	-25,1	12	56	-25,2	-217,6	HN20x90,5	231	94%

Tabla VII.28: Verificación Columna Exterior.

Frame	Pu_est	A_BRB	Angulo	Pu=Tu cosφ	Pu_acumulado	Perfil	φPn	FU
Text	Ton	cm2	°	Ton	Ton	ICHA	Ton	
		6	53	-13,662	-13,7	HN20X39,9	86	16%
C8.5	-3,583	6	53	-13,662	-30,9	HN20X39,9	86	36%
C8.4	-4,27	7	58	-14,07942	-49,3	HN20X39,9	86	57%
C8.3	-5,677	8	53	-18,216	-73,1	HN20x54,8	131	56%
C8.2	-8,782	7,1	56	-14,88126	-96,8	HN20x54,8	131	74%
C8.1	-12,56	7,1	56	-14,88126	-124,3	HN20x54,8	131	95%

Para efectos de diseño se consideran sólo dos tipos de columnas, una interior y otra exterior, a su vez se considera solo una reducción de sección de columna en altura debido a una menor demanda.

No se realiza la verificación de desplazamientos dado que ésta se evalúa en el caso 4 cuando se incorpore la curva de tensión deformación y se evalúe el comportamiento no lineal con los registros tiempo historia en el caso 4.

**Peso de la Estructura:** 24,5 ton.

### VII.3.7 Verificación de desplazamientos.

Finalmente se realiza la verificación de los desplazamientos verticales y laterales máximos considerando las amplificaciones de las cargas sísmicas necesarias para obtener al menos la demanda sísmica mínima, según lo establecido en el capítulo 6 de la NCh2369.

#### Desplazamientos Laterales.

Tabla VII.29: Caso 3 - Desplazamientos Máximos.

LC	Dir.	Ubicación	H [m]	D <sub>adm</sub> [mm]	U <sub>1</sub> y U <sub>2</sub> [mm]	Status
LC8: DL + Po - EX	X	1er nivel	2,65	39,75	21,1	OK
LC8: DL + Po - EX	X	2do nivel	5,3	79,5	48,2	OK
LC8: DL + Po - EX	X	3er nivel	8,3	124,5	66,1	OK
LC8: DL + Po - EX	X	4to nivel	10,8	162	94,1	OK
LC8: DL + Po - EX	X	5to nivel	13,8	207	126,1	OK
LC8: DL + Po - EX	X	6to nivel	16,8	252	158,6	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	1er nivel	2,65	39,75	3,5	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	2do nivel	5,3	79,5	6,7	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	3er nivel	8,3	124,5	10,8	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	4to nivel	10,8	162	15,0	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	5to nivel	13,8	207	19,0	OK
LC9: DL + Po + EY	Y	6to nivel	16,8	252	22,0	OK

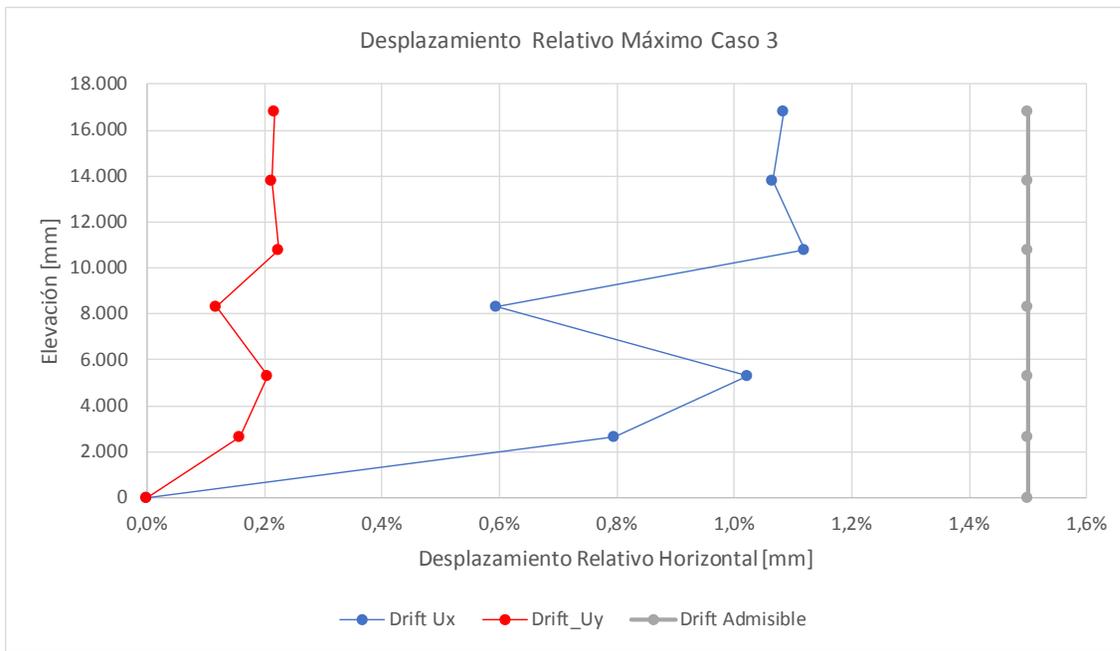


Gráfico VII.8: Desplazamiento Máximo Relativo.

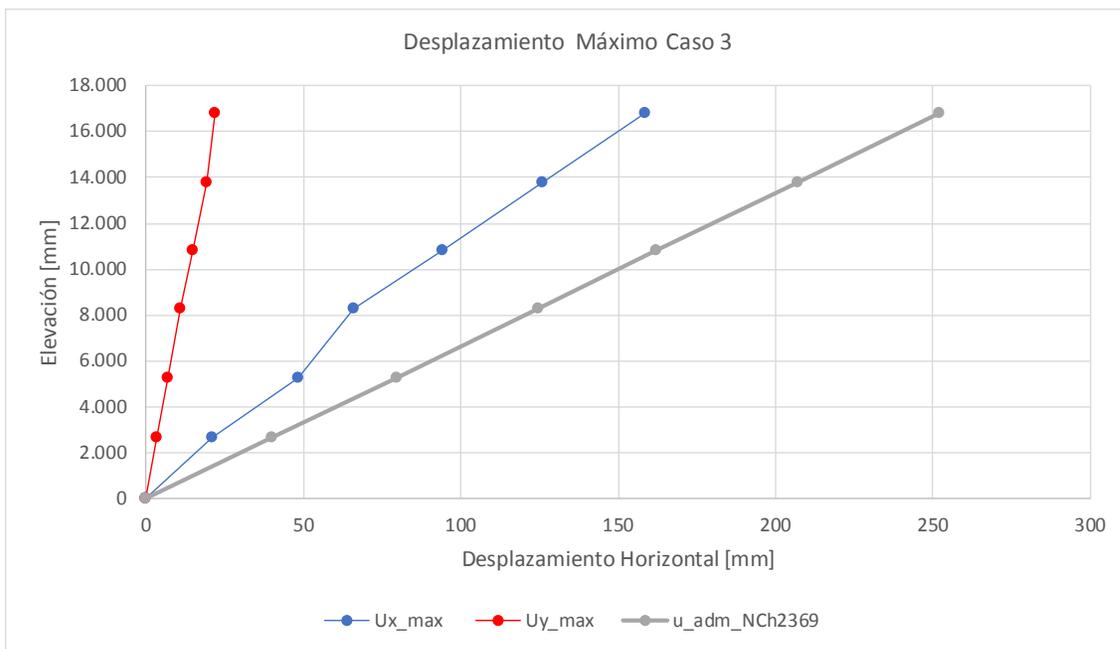


Gráfico VII.9: Desplazamiento Horizontal Máximo.

La discontinuidad en el drift y desplazamiento máximo en la elevación 8 metros, se debe a que ese nivel cuenta con una mayor cantidad de arriostramientos (tres) a diferencia del resto de los niveles que cuenta con solo un arriostramiento.

## Desplazamiento Vertical.

El desplazamiento vertical máximo se produce en el nivel 10.800, viga donde se apoya la tolva.

Tabla VII.30: Caso 2 - Desplazamiento Vertical Máximo.

Comb	Nodo	DespAbsoluto [cm]	DespApoyos [cm]	DespRelativo [cm]	Largo [cm]	D <sub>adm</sub> [cm]	Estado
LC9	N333	18,83	8,75	10,08	400	11,1	Ok

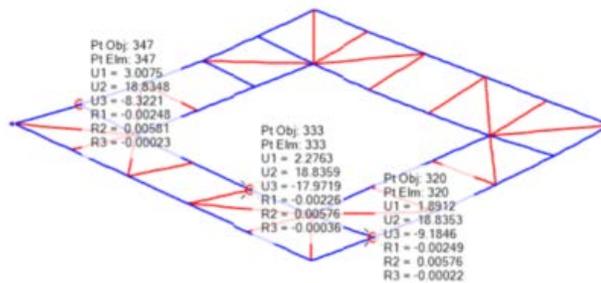


Figura VII.28: Plataforma nivel 10.800 mm, zona apoyo de la tolva.

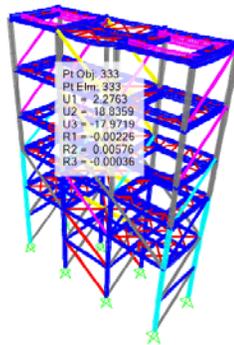


Figura VII.29: Lugar de ubicación punto de mayor deflexión.

**Peso de la Estructura:** 24,72 ton.

## VII.4 Resultados Diseño Caso 4.

En este capítulo o también denominado Caso 4, se verifican no linealmente los diseños anteriormente mencionados, los cuales se resumen a continuación:

Caso 1: Diseño CBF diseño según normativa vigente.

Caso 2: Diseño CBF diseño según anteproyecto de norma.

Caso 3: Diseño de BRB.

### VII.4.1 Verificación No Lineal Caso 1: Riostras Convenzionales diseño NCh2369:2003.

Tal como se observa en la Tabla VII.31 las esbelteces globales de las diagonales están dentro de la vecindad de  $\lambda$  [91 – 126], por ende, se interpola cada una de las esbelteces identificadas de acuerdo a los patrones que se obtuvieron del estudio de Black [1980] para las esbelteces de 80 – 120.

Tabla VII.31: Esbeltez Global Diagonales Convenzionales.

Sección	Esbeltez	Área	$R_y \times F_y$	$T_y$ esperada
Riostras	$\lambda = k L/r$	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	ton
XL10x5,87	118,5	7,5	3795	28,46
XL10x5,87	125,6	7,5	3795	28,46
XL13x9,56	91,4	12,2	3795	46,30
XL13x9,56	93,0	12,2	3795	46,30
XL13x9,56	96,9	12,2	3795	46,30
XL16x14,7	104,4	18	3795	68,31

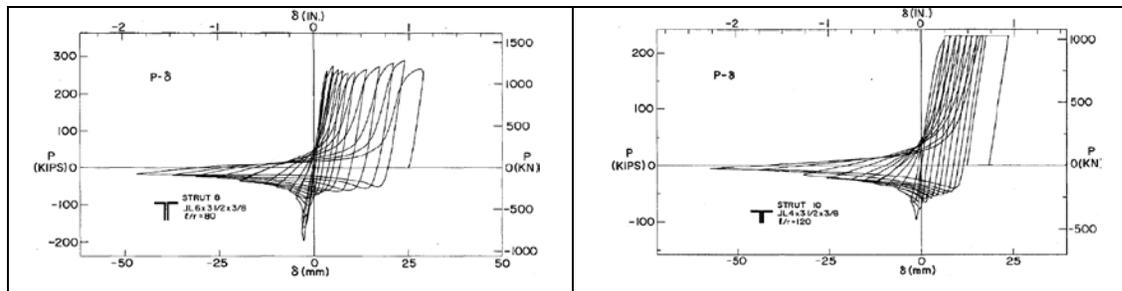


Figura VII.30: Curvas de histéresis para  $kl/r = 80$  y  $120$  elementos TL.

**Curva de Histéresis – Multilinear Plastic – Pivot.**

De acuerdo a los estudios realizados el año 1980 por Black et. al. el comportamiento no lineal de las riostras para un tipo de perfil puede ser modelado por una curva tensión-deformación asociada a la esbeltez global del elemento. Por ello, un perfil TL cualquiera, bajo la misma esbeltez global presenta un similar comportamiento histerético, tal como se observa en la Figura VII.30: Curvas de histéresis para  $kl/r = 80$  y  $120$  elementos TL. A partir de ello se propone una aproximación a la curva normalizada a partir de los resultados experimentales, a través de un elemento link del Sap2000 Multilinear Plastic con una curva tipo Pivot. Para obtener cada uno de los parámetros de entrada de la curva Pivot se realiza un procedimiento de linealización manual del diagrama de Black, luego estos valores son ingresados al Sap2000.

$$k_{axial} = \frac{AE}{L} \qquad T_y = k_{axial} \cdot u_y$$

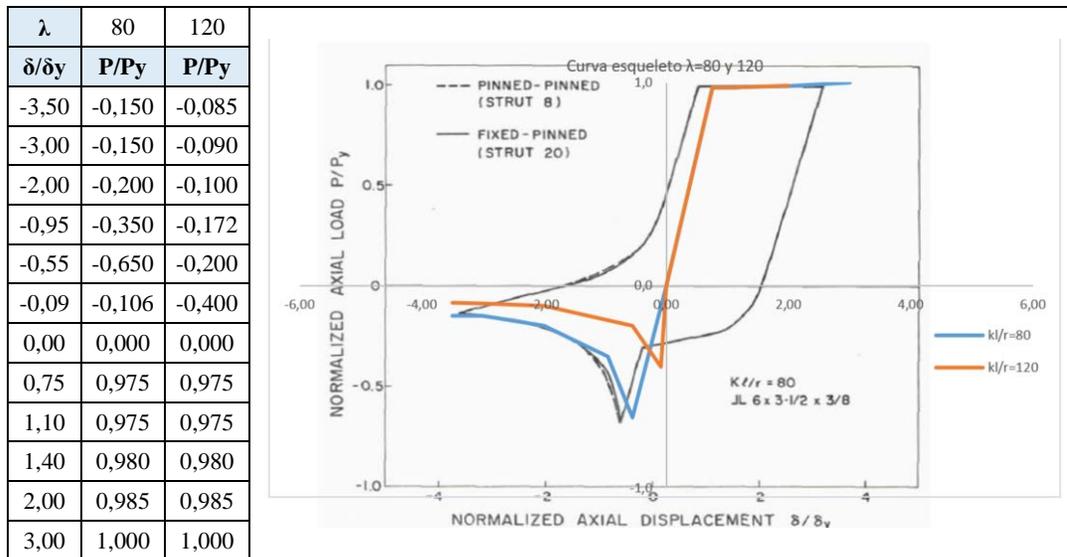


Figura VII.31: Tensión Deformación Normalizada  $KL/r = 80$  y  $120$ .

A partir de la interpolación lineal se obtienen los resultados indicados en la Tabla VII.32 y Gráfico VII.10.

Tabla VII.32: Interpolación lineal esbelteces normalizadas.

$\lambda$	80,00	93,0	104,4	96,9	91,4	118,5	125,6	120,00
$\delta/\delta_y$	P/Py							
-4,00	-0,150	-0,129	-0,110	-0,123	-0,131	-0,087	-0,076	-0,085
-3,00	-0,150	-0,131	-0,113	-0,125	-0,133	-0,092	-0,082	-0,090
-2,00	-0,200	-0,168	-0,139	-0,158	-0,171	-0,104	-0,086	-0,100
-0,95	-0,350	-0,292	-0,242	-0,275	-0,299	-0,179	-0,147	-0,172
-0,55	-0,650	-0,504	-0,375	-0,460	-0,522	-0,217	-0,137	-0,200
-0,09	-0,106	-0,202	-0,285	-0,230	-0,190	-0,389	-0,441	-0,400
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,75	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975
1,10	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975
1,40	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980
2,00	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985
3,50	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

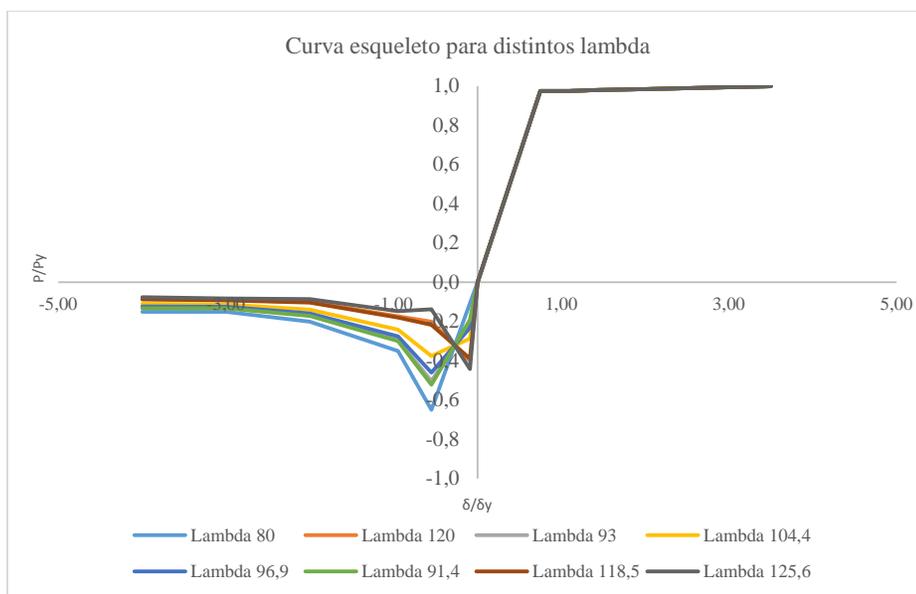


Gráfico VII.10: Tensión deformación Normalizada para las distintas esbelteces.

Para representar la no linealidad de las riostras se definen elementos “link” a partir de las curvas tensión deformación representadas anteriormente.

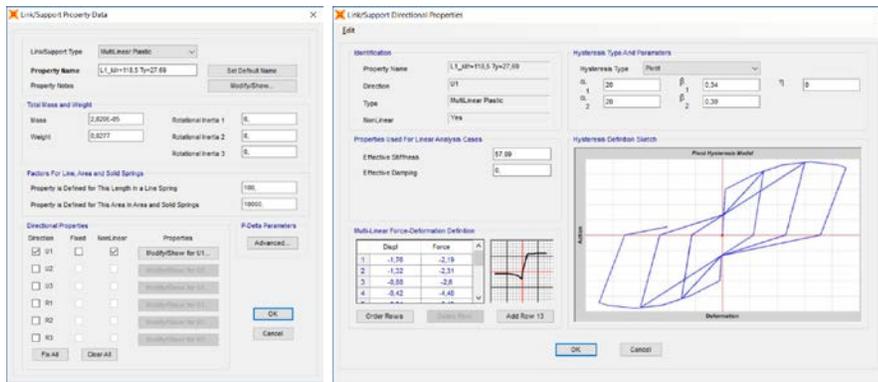


Figura VII.32: Multilinear Plastic Sap2000.

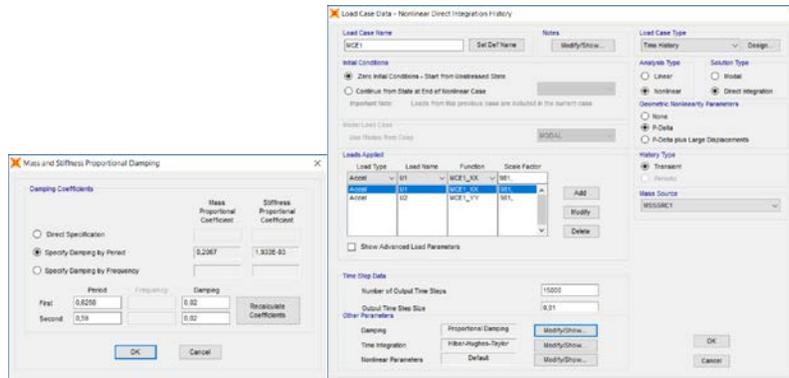
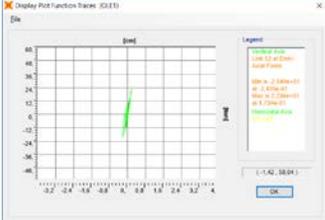
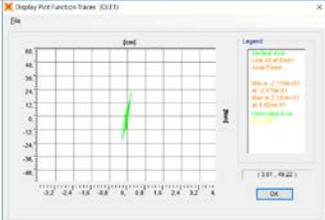
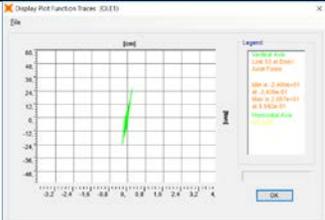
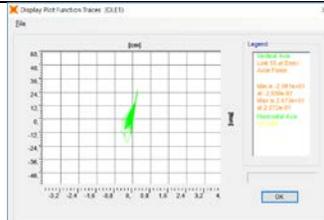
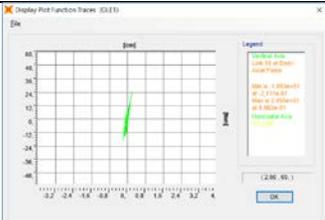
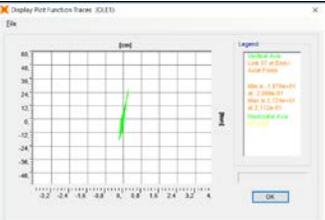
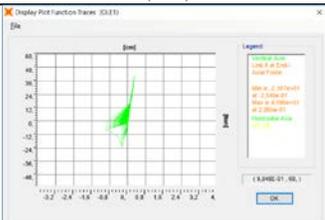
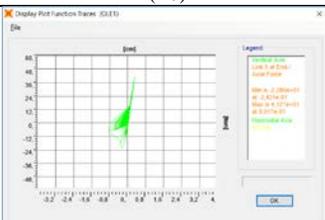


Figura VII.33: Parámetros Tiempo Historia.

A continuación, se presentan los resultados de histéresis de la elevación 1. Cada gráfico que se presenta a continuación representa su posición dentro de la estructura.

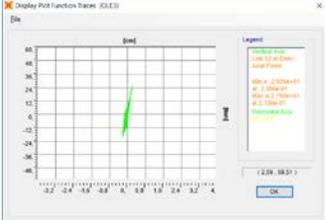
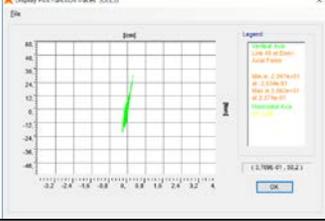
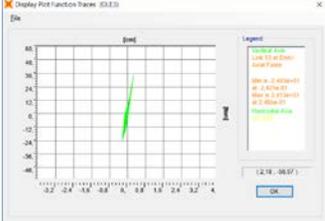
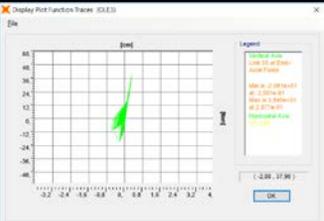
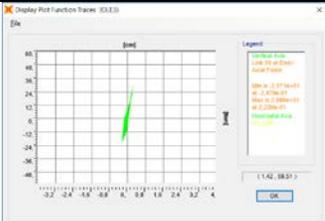
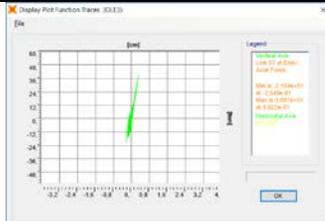
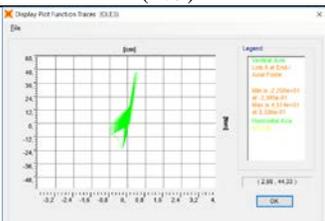
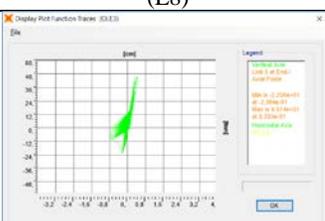
Luego se presenta la elevación de la sección transversal de los Ejes H, G, D y E, para las solicitaciones OLE, DLE y MCE, que representan los sismos de operacional, diseño y máximo creíble.

a) Curvas de Histéresis por piso OLE1 – Unidades en Ton y cm.

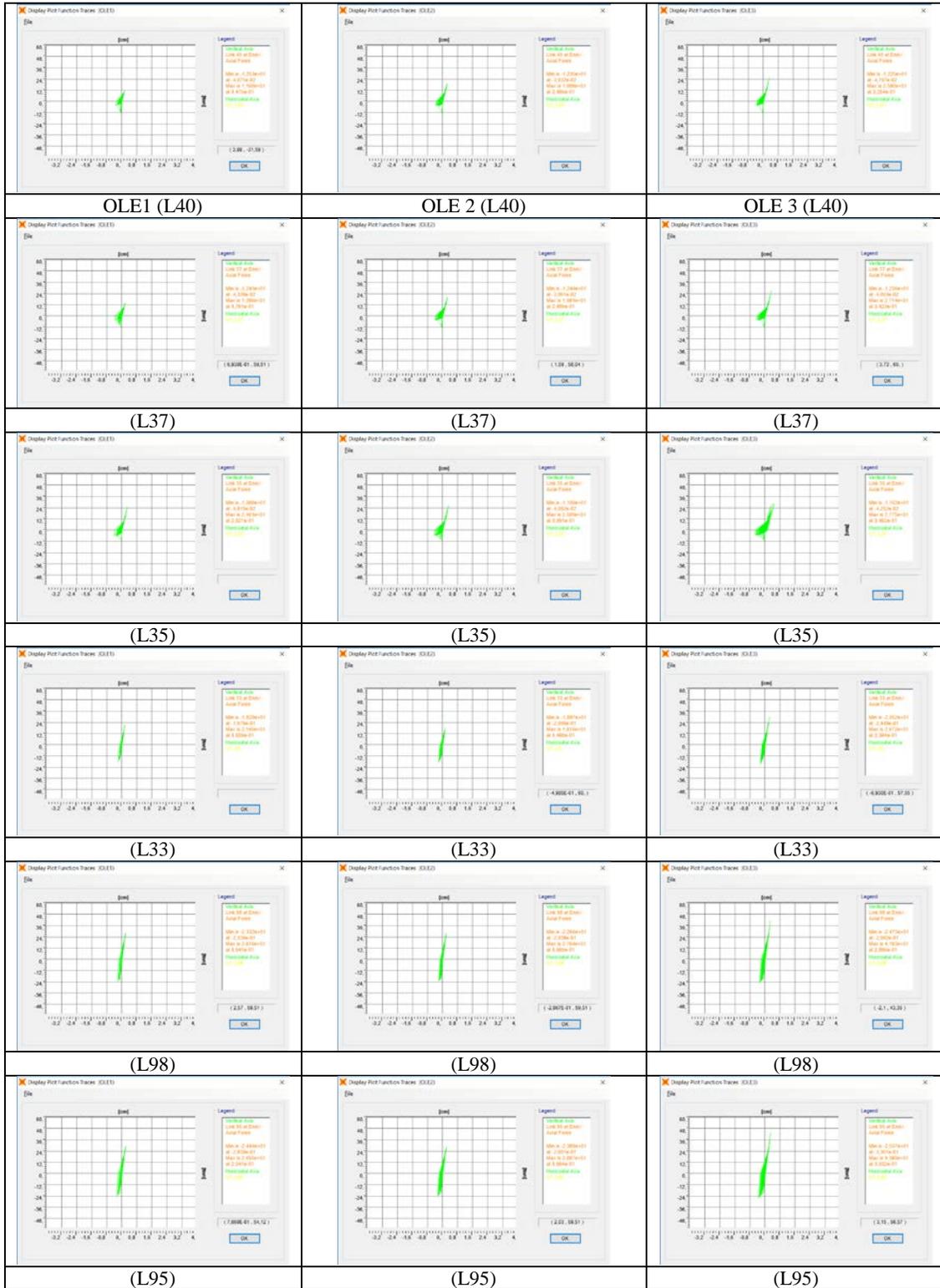
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Area</li> <li>Load Frame</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> </ul> <p>(1.42, 36.84)</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Area</li> <li>Load Frame</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> </ul> <p>(1.81, 46.22)</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Area</li> <li>Load Frame</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> </ul> <p>(2.86, 46.1)</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Area</li> <li>Load Frame</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> </ul> <p>(2.86, 46.1)</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Area</li> <li>Load Frame</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> </ul> <p>(2.86, 46.1)</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Area</li> <li>Load Frame</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> </ul> <p>(2.86, 46.1)</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Area</li> <li>Load Frame</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> </ul> <p>(3.8466, 67, 66.1)</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Area</li> <li>Load Frame</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> <li>Area = 2.000e+03</li> <li>Area = 0.000e+00</li> </ul> <p>(3.8466, 67, 66.1)</p>	
	(L5)	



c) Curvas de Histéresis por piso OLE3 – Unidades en Ton y cm.

		
	(L52)	
		
	(L49)	
		
	(L53)	
		
(L55)	(L59)	(L57)
		
	(L8)	
		
	(L5)	

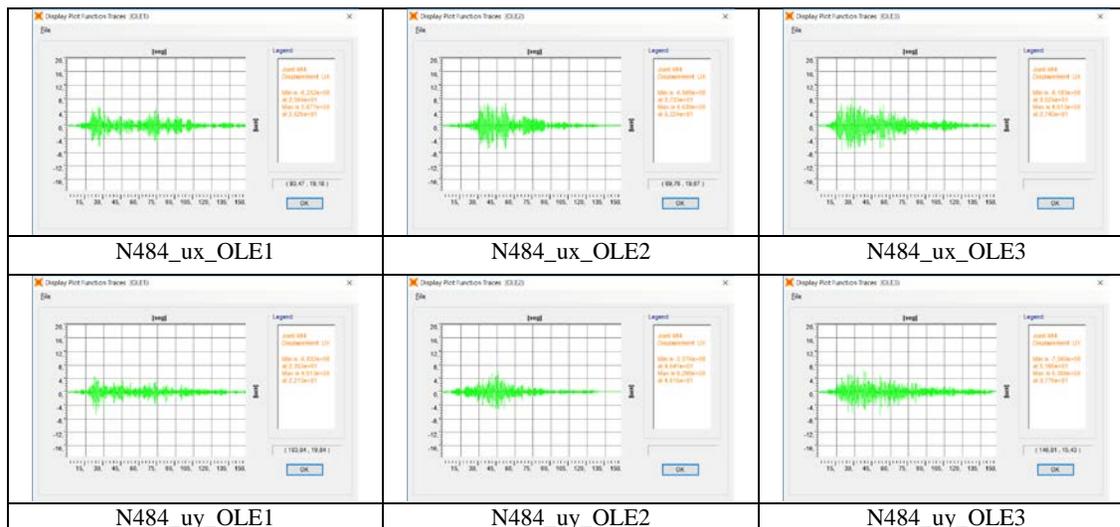
d) Curvas de Histéresis por pisos OLE Elevación H



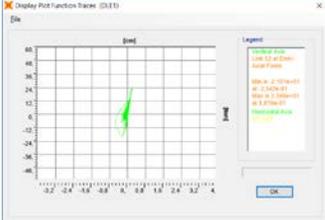
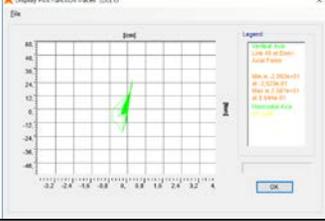
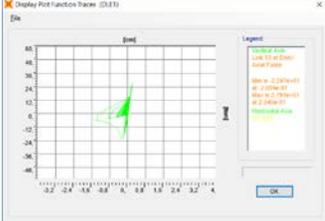
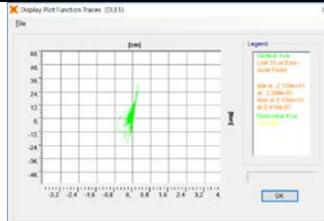
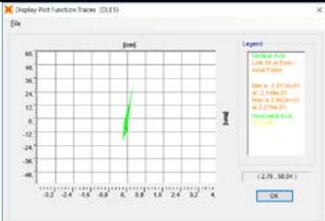
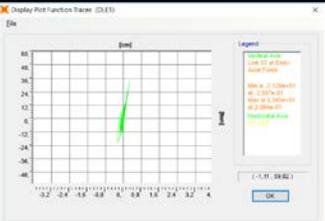
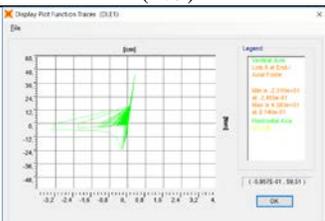
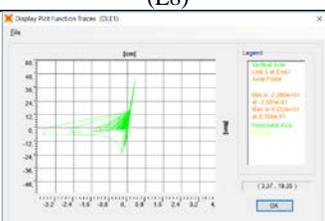
e) Desplazamientos Tiempo Historia OLE.

Los desplazamientos máximos son los siguientes:

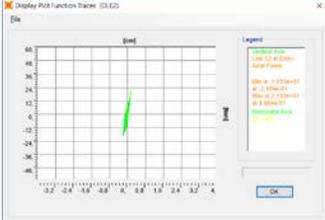
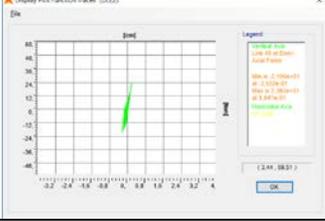
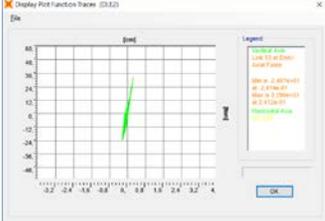
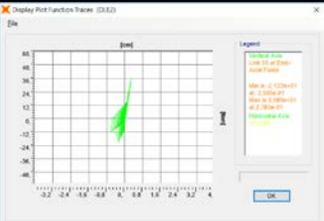
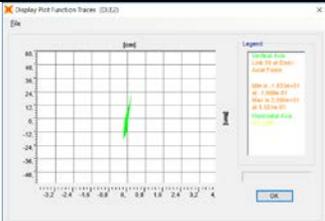
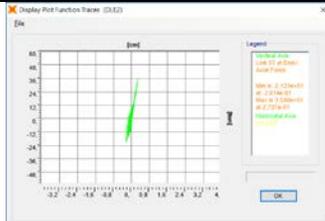
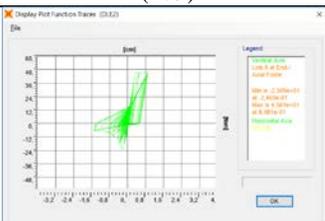
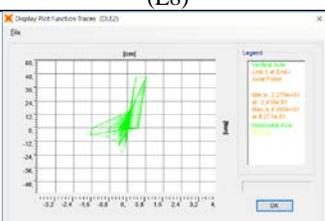
N484	OLE1		OLE2		OLE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	-6,25	25,94	-6,99	37,33	8,61	27,43
Uy_max	-6,83	23,53	6,29	46,15	-7,06	51,06



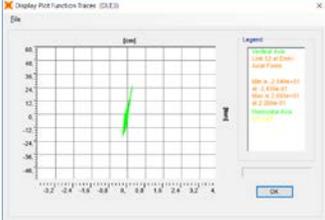
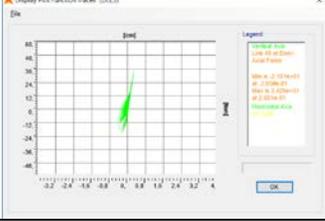
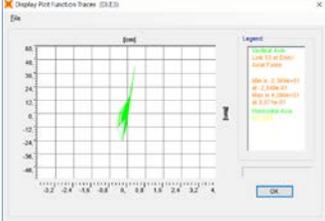
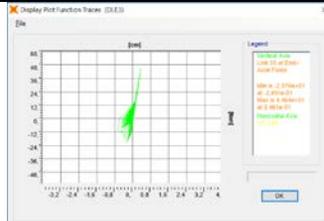
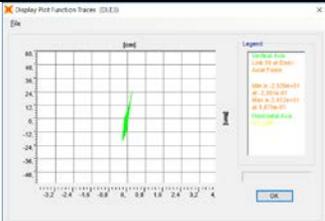
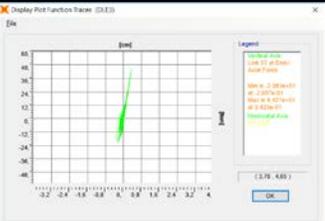
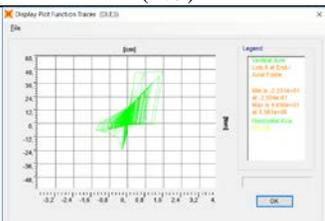
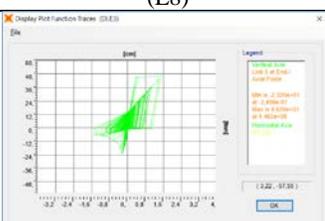
f) Curvas de Histéresis por piso. DLE1 – Unidades en Ton y cm.

	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at DLE1</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.028e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Max. at 3.208e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Vertical</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at DLE1</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.028e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Max. at 3.208e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Vertical</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at DLE1</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.028e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Max. at 3.208e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Vertical</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at DLE1</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.028e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Max. at 3.208e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Vertical</li> </ul> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at DLE1</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.028e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Max. at 3.208e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Vertical</li> </ul> <p>1.27E+04 (1)</p> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at DLE1</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.028e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Max. at 3.208e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Vertical</li> </ul> <p>1.1E+04 (1)</p> <p>OK</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at DLE1</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.028e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Max. at 3.208e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Vertical</li> </ul> <p>1.00E+04 (1)</p> <p>OK</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at DLE1</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.028e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Max. at 3.208e+03</li> <li>at 0.000e+00</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Vertical</li> </ul> <p>1.2E+04 (1)</p> <p>OK</p>	
	(L5)	

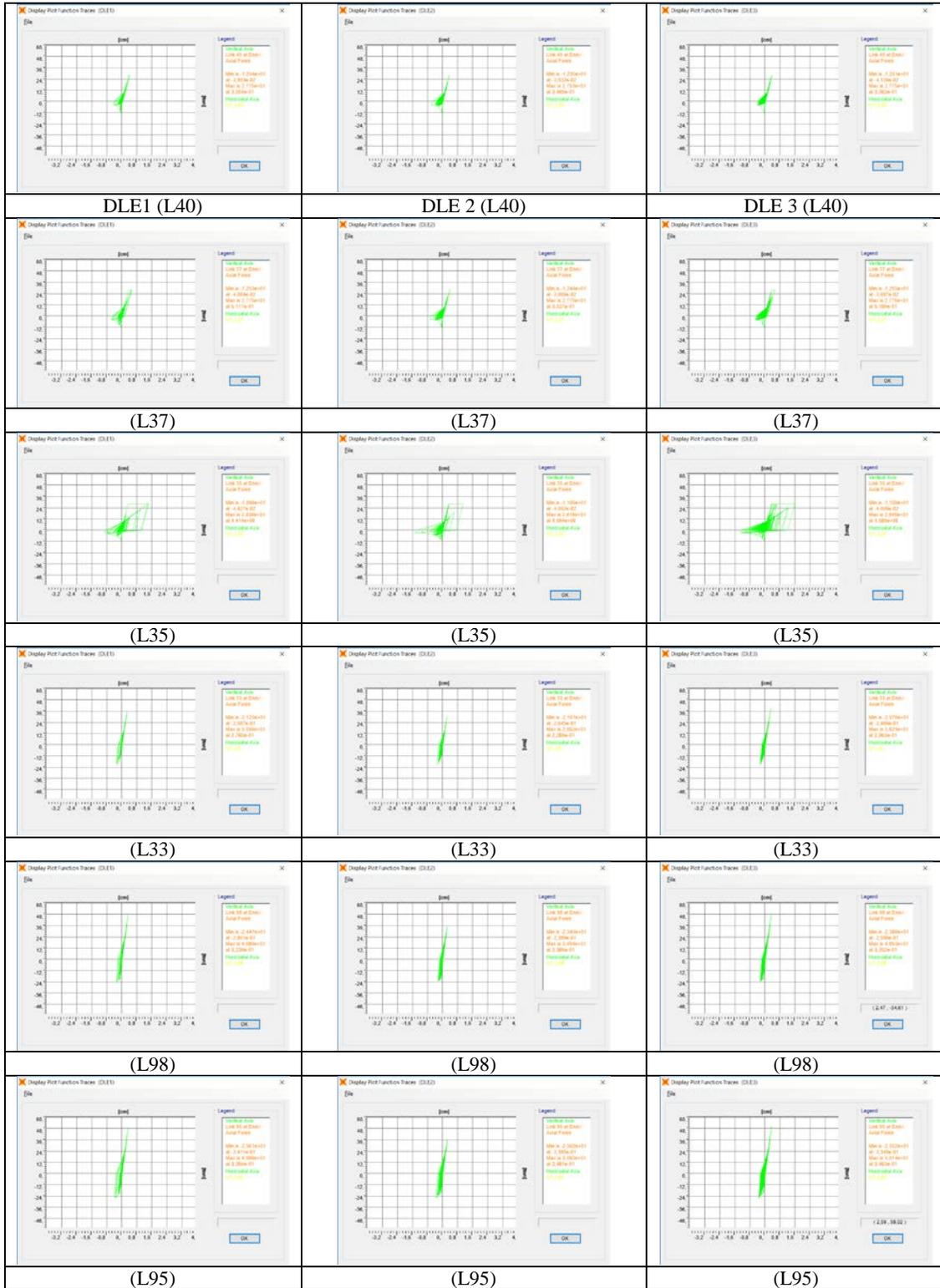
g) Curvas de Histéresis por piso. DLE2 – Unidades en Ton y cm.

	 <p>Display Plot Function Tracer (33.62)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at (200)</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.000e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (33.62)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at (200)</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.000e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (33.62)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at (200)</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.000e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Tracer (33.62)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at (200)</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.000e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> </ul> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (33.62)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at (200)</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.000e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> </ul> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (33.62)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at (200)</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.000e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> </ul> <p>OK</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Tracer (33.62)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at (200)</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.000e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (33.62)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at (200)</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.000e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L5)	

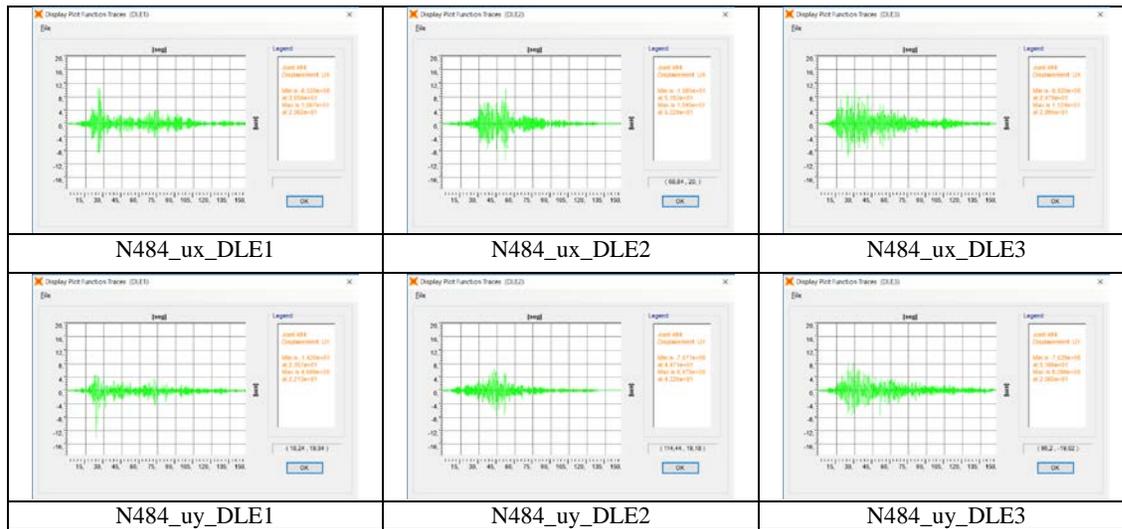
h) Curvas de Histéresis por piso. DLE3 – Unidades en Ton y cm.

	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at 20kN</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.200e+03</li> <li>at 2.200e+03</li> <li>Max. at 3.200e+03</li> <li>at 3.200e+03</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Displacement</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at 20kN</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.100e+03</li> <li>at 2.100e+03</li> <li>Max. at 3.200e+03</li> <li>at 3.200e+03</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Displacement</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at 20kN</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.200e+03</li> <li>at 2.200e+03</li> <li>Max. at 3.200e+03</li> <li>at 3.200e+03</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Displacement</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at 20kN</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.200e+03</li> <li>at 2.200e+03</li> <li>Max. at 3.200e+03</li> <li>at 3.200e+03</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Displacement</li> </ul> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at 20kN</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.200e+03</li> <li>at 2.200e+03</li> <li>Max. at 3.200e+03</li> <li>at 3.200e+03</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Displacement</li> </ul> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at 20kN</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.200e+03</li> <li>at 2.200e+03</li> <li>Max. at 3.200e+03</li> <li>at 3.200e+03</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Displacement</li> </ul> <p>OK</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at 20kN</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.200e+03</li> <li>at 2.200e+03</li> <li>Max. at 3.200e+03</li> <li>at 3.200e+03</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Displacement</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load (1) at 20kN</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. at 2.200e+03</li> <li>at 2.200e+03</li> <li>Max. at 3.200e+03</li> <li>at 3.200e+03</li> <li>Horizontal Axis</li> <li>Displacement</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L5)	

i) Curvas de Histéresis por pisos DLE Elevación H



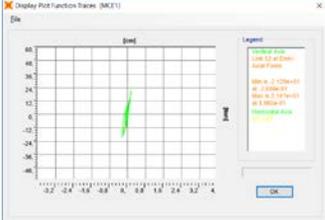
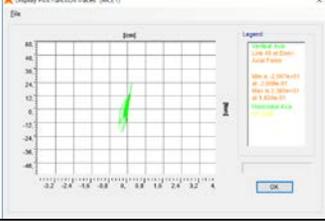
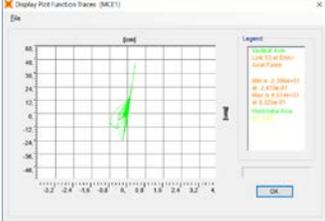
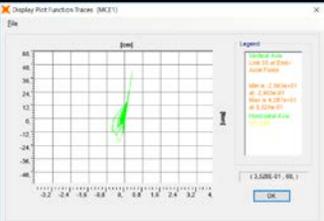
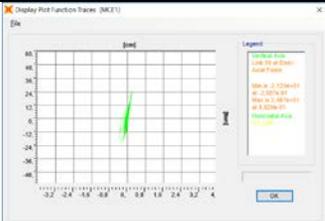
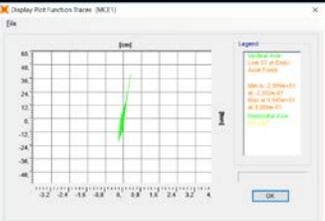
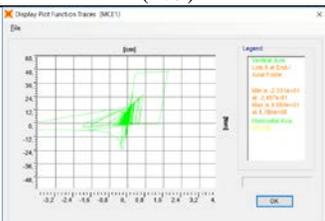
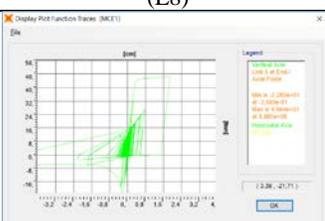
j) Desplazamientos – Tiempo Historia DLE.



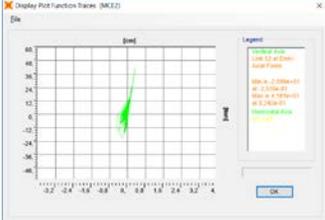
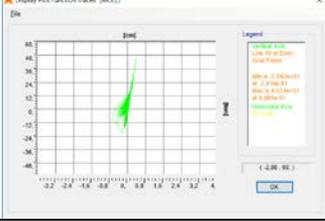
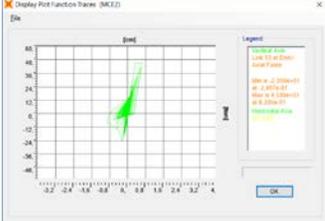
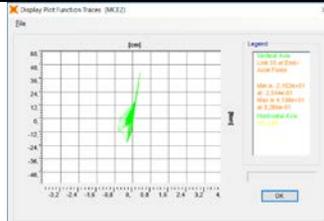
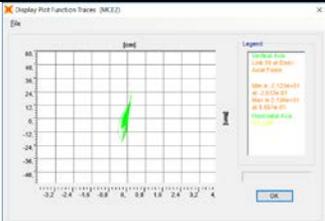
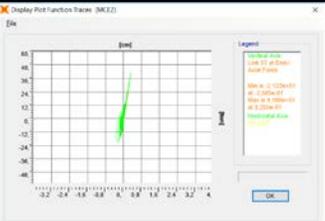
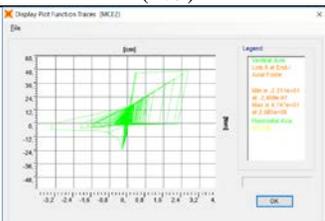
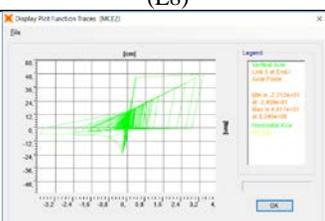
Los desplazamientos máximos son los siguientes:

N484	DLE1		DLE2		DLE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	10,67	25,62	-10,85	52,29	11,24	29,96
Uy_max	-14,2	23,57	-7,67	44,71	8,20	25,05

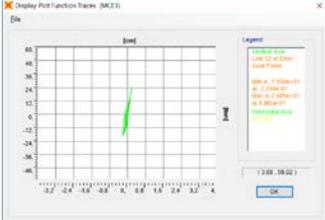
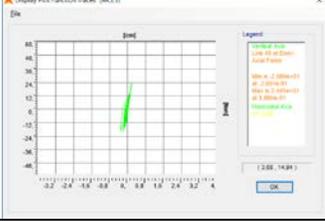
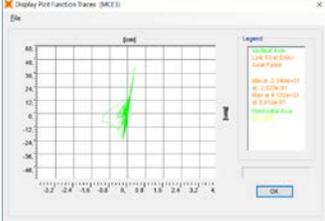
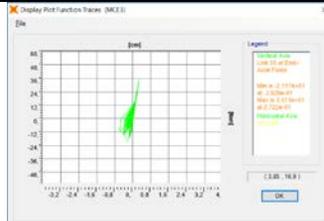
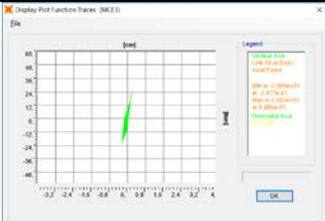
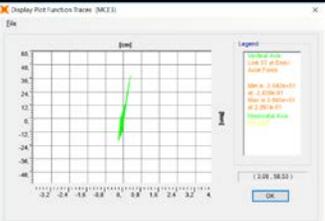
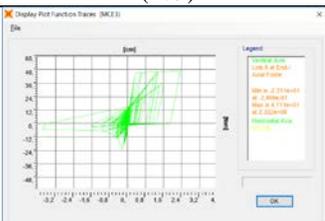
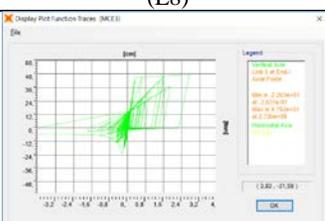
k) Curvas de Histéresis por piso. MCE1 – Unidades en Ton y cm.

	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Load</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 2.226e+03</li> <li>Max. = 2.226e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Load</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 2.226e+03</li> <li>Max. = 2.226e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Load</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 2.226e+03</li> <li>Max. = 2.226e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Tracer (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Load</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 2.226e+03</li> <li>Max. = 2.226e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> </ul> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Load</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 2.226e+03</li> <li>Max. = 2.226e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> </ul> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Load</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 2.226e+03</li> <li>Max. = 2.226e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> </ul> <p>OK</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Load</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 2.226e+03</li> <li>Max. = 2.226e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Load</li> <li>Load Frame</li> <li>Min. = 2.226e+03</li> <li>Max. = 2.226e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> <li>Min. = 1.977e+03</li> <li>Max. = 1.977e+03</li> </ul> <p>OK</p>	
	(L5)	

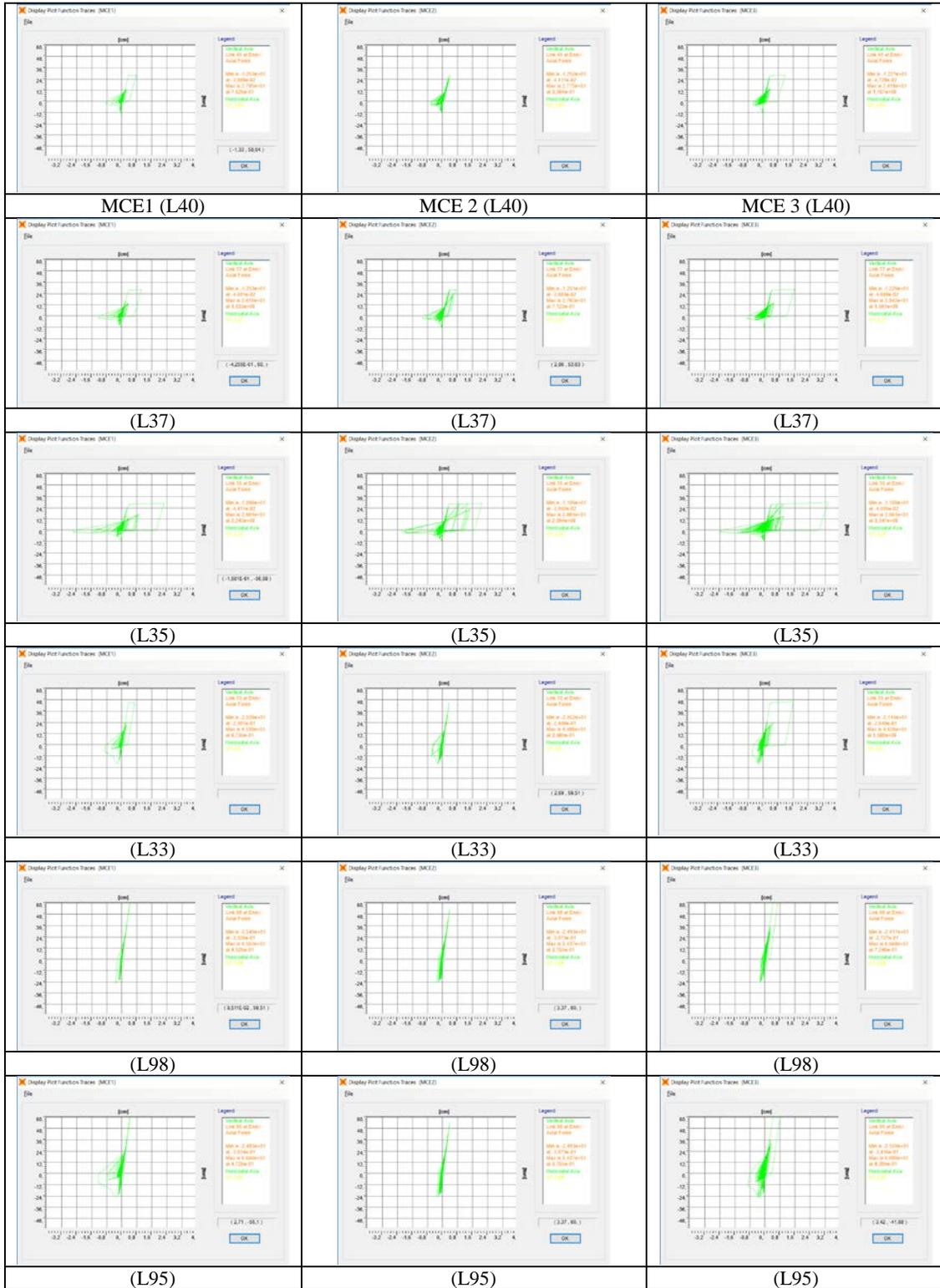
l) Curvas de Histéresis por piso. MCE2 – Unidades en Ton y cm.

		
	(L52)	
		
	(L49)	
		
	(L53)	
		
(L55)	(L59)	(L57)
		
	(L8)	
		
	(L5)	

m) Curvas de Histéresis por piso. MCE3 – Unidades en Ton y cm.

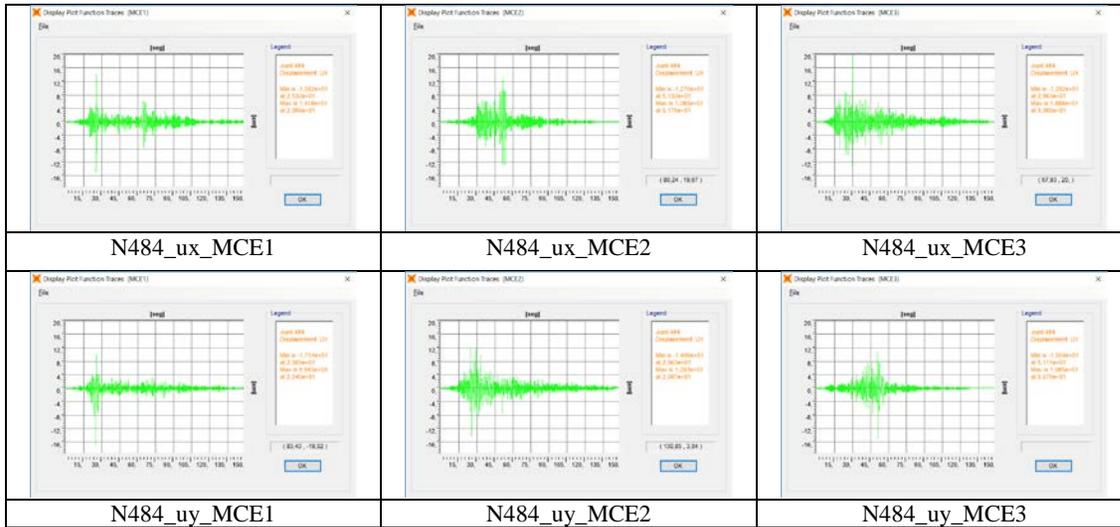
		
	(L52)	
		
	(L49)	
		
	(L53)	
		
(L55)	(L59)	(L57)
		
	(L8)	
		
	(L5)	

n) Curvas de Histéresis por pisos MCE Elevación H



o) Desplazamientos – Tiempo Historia MCE.

A continuación, se presentan los desplazamientos de techo para las direcciones x e y.

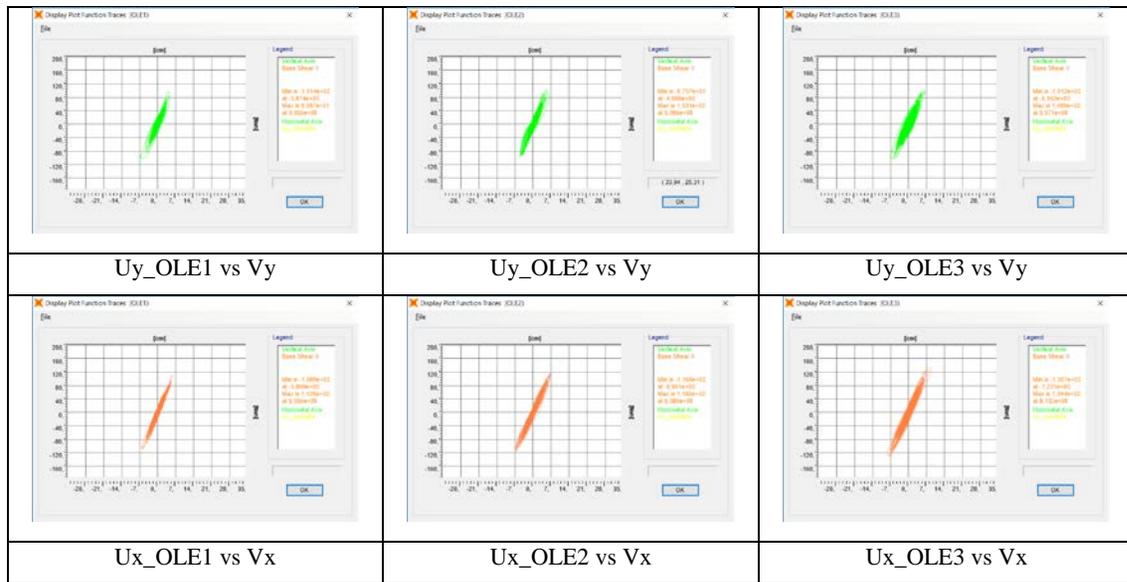


Los desplazamientos máximos son los siguientes:

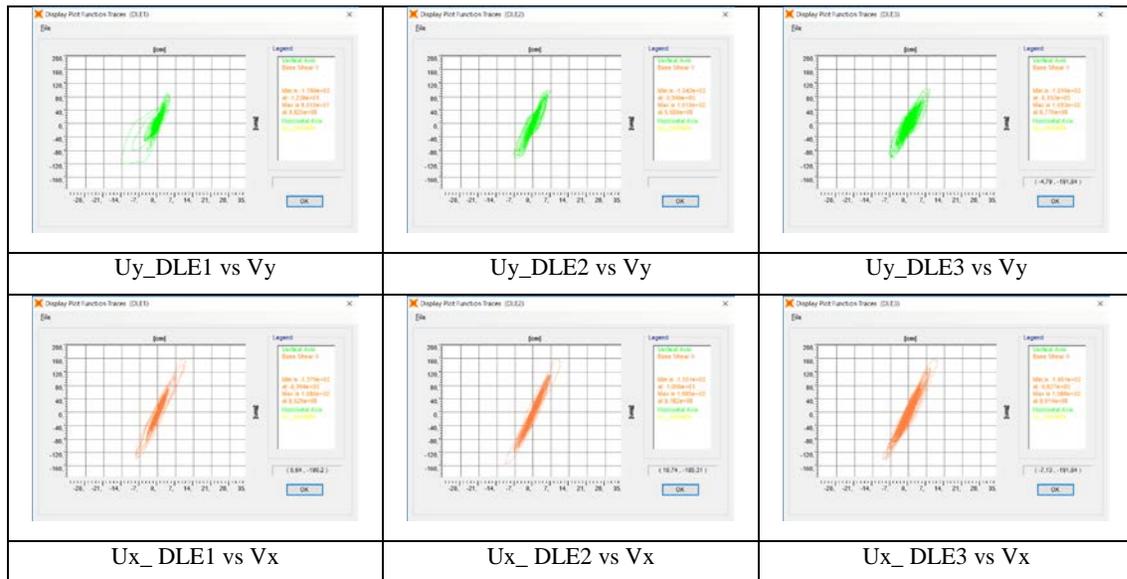
N484	MCE1		MCE2		MCE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	-15,02	25,32	12,85	51,7	18,8	30,0
Uy_max	-17,14	25,05	-14,06	25,63	-15,0	51,1

p) Corte Basal y Desplazamiento de Techo.

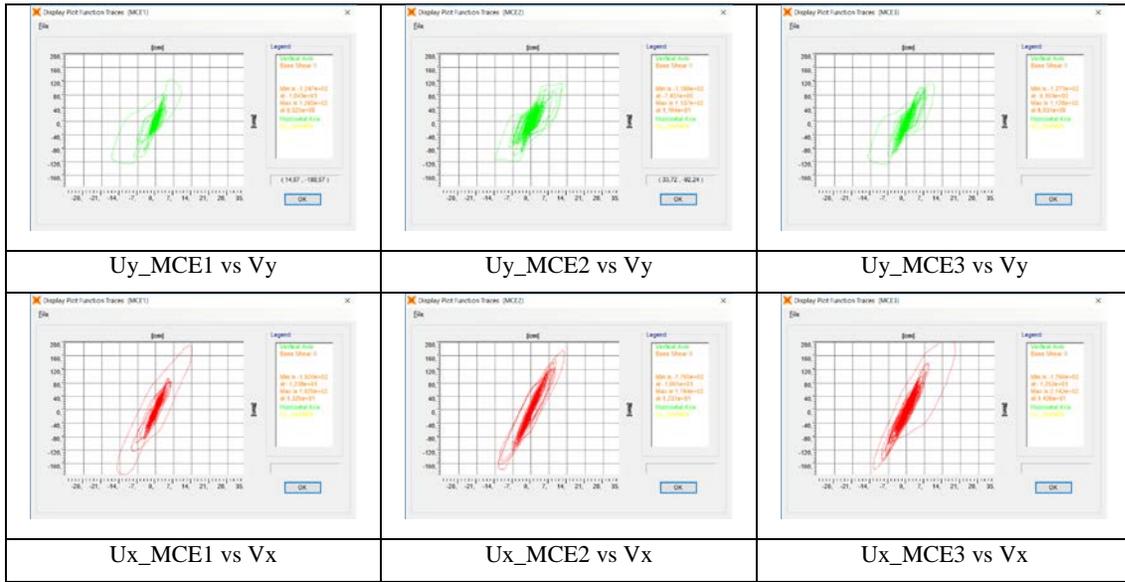
**Resultados OLE.**



**Resultados DLE.**



**Resultados MCE.**



N484	MCE1		MCE2		MCE3	
	ton	cm	ton	cm	ton	cm
Vx_max	0	-12,38	-176	-10,61	214	14,38
Vy_max	-125	-10,43	-118	-7,45	-127	-9,16

## VII.4.2 Verificación No Lineal Caso 2: Riostras Convencionales Diseño Anteproyecto NCh2369.

Tal como se observa en la Tabla VII.33 las esbelteces globales de las diagonales están dentro de la vecindad de  $\lambda$  [91 – 126], por ende, se interpola cada una de las esbelteces identificadas de acuerdo a los patrones que se obtuvieron del estudio de Black [1980] para las esbelteces de 80 – 120.

Tabla VII.33: Esbeltez Global Diagonales Convencionales.

Sección	Esbeltez	Área	$R_y \times F_y$	$T_{y\text{esperada}}$
Riostras	$\lambda=k L/r$	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	ton
XL10x5,18	118,5	6,6	3795	25,05
XL10x5,18	125,6	6,6	3795	25,05
XL13x9,56	91,4	12,2	3795	46,30
XL13x9,56	93,0	12,2	3795	46,30
XL10x5,87	125,6	7,5	3795	28,46
XL13x9,56	96,9	12,2	3795	46,30
XL16x14,7	104,4	18	3795	68,31

### Curva de Histéresis – Multilinear Plastic – Pivot.

A partir de la interpolación lineal se obtienen los resultados indicados en la Tabla VII.34 y Gráfico VII.11.

Tabla VII.34: Interpolación lineal esbelteces.

$\lambda$	80,00	93,0	104,4	96,9	91,4	118,5	125,6	120,00
$\delta/\delta_y$	P/Py							
-4,00	-0,150	-0,129	-0,110	-0,123	-0,131	-0,087	-0,076	-0,085
-3,00	-0,150	-0,131	-0,113	-0,125	-0,133	-0,092	-0,082	-0,090
-2,00	-0,200	-0,168	-0,139	-0,158	-0,171	-0,104	-0,086	-0,100
-0,95	-0,350	-0,292	-0,242	-0,275	-0,299	-0,179	-0,147	-0,172
-0,55	-0,650	-0,504	-0,375	-0,460	-0,522	-0,217	-0,137	-0,200
-0,09	-0,106	-0,202	-0,285	-0,230	-0,190	-0,389	-0,441	-0,400
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,75	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975

$\lambda$	80,00	93,0	104,4	96,9	91,4	118,5	125,6	120,00
$\delta/\delta_y$	P/Py							
1,10	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975
1,40	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980
2,00	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985
3,50	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

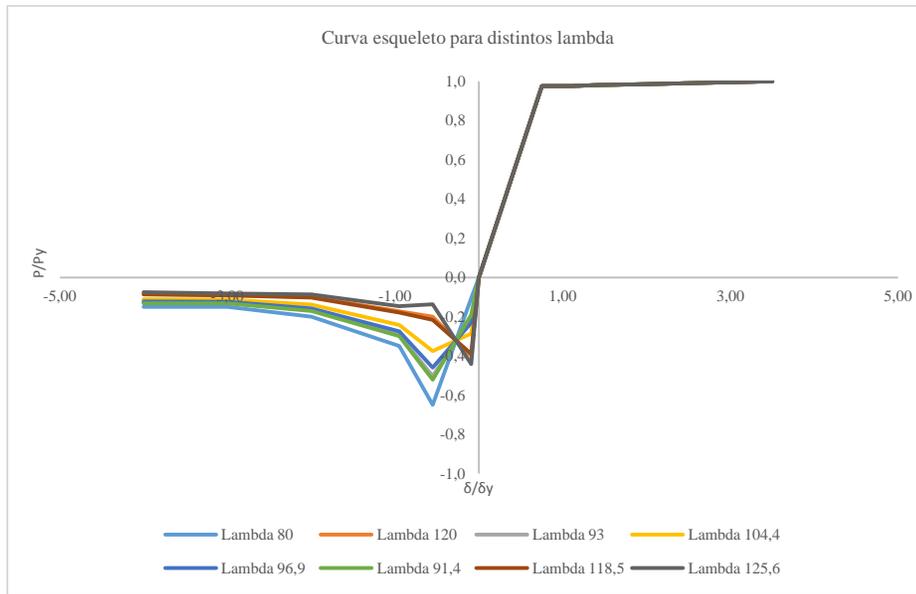
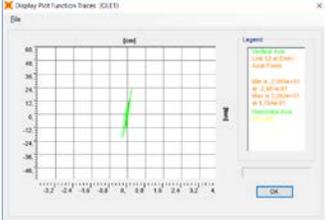
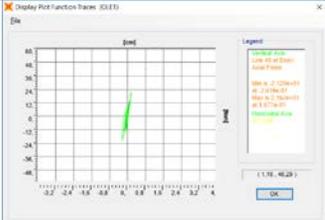
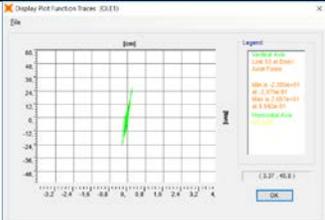
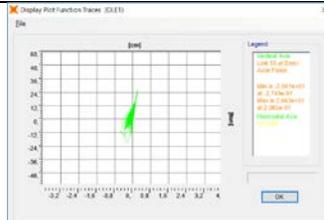
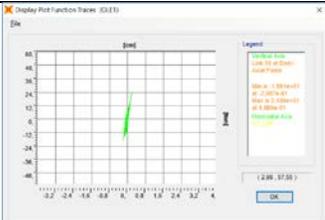
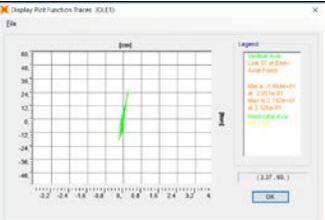
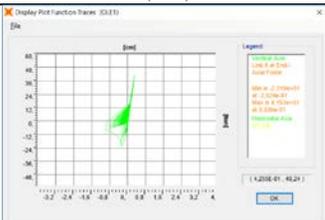
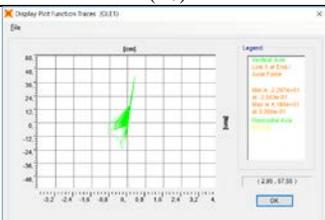
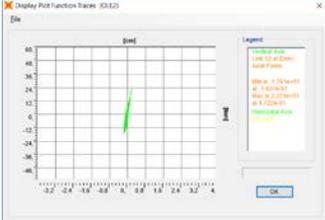
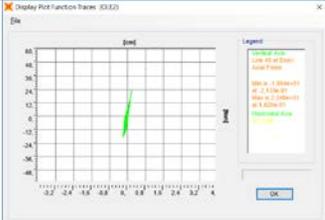
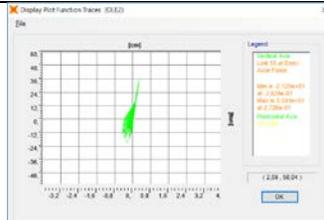
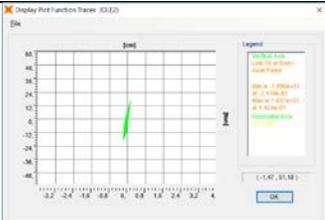
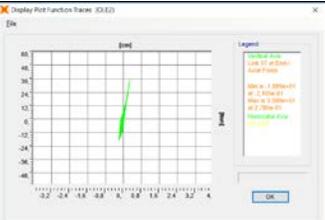
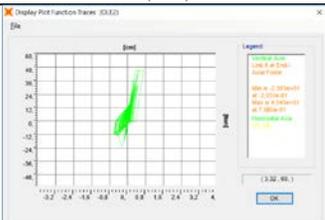
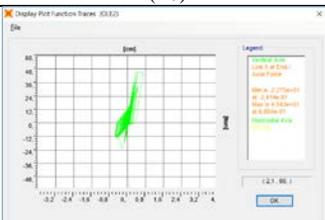


Gráfico VII.11: Tensión deformación para las distintas riostras.

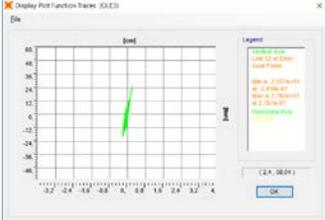
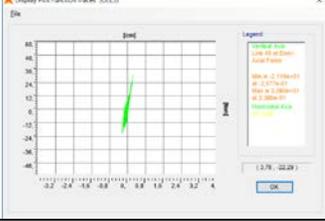
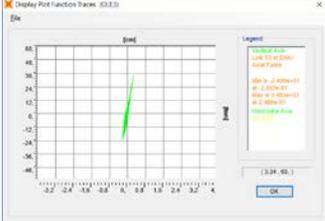
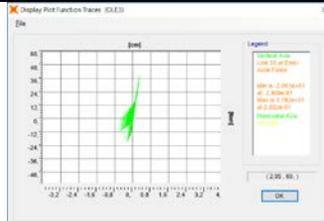
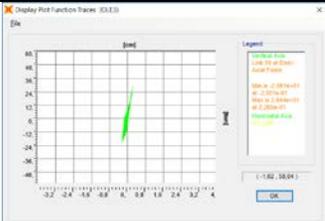
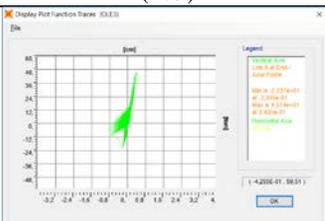
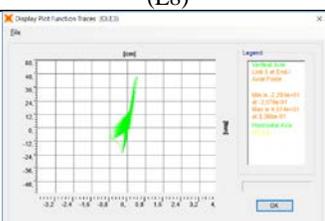
a) Curvas de Histéresis por piso OLE1 – Unidades en Ton y cm.

		
	(L52)	
		
	(L49)	
		
	(L53)	
		
(L55)	(L59)	(L57)
		
	(L8)	
		
	(L5)	

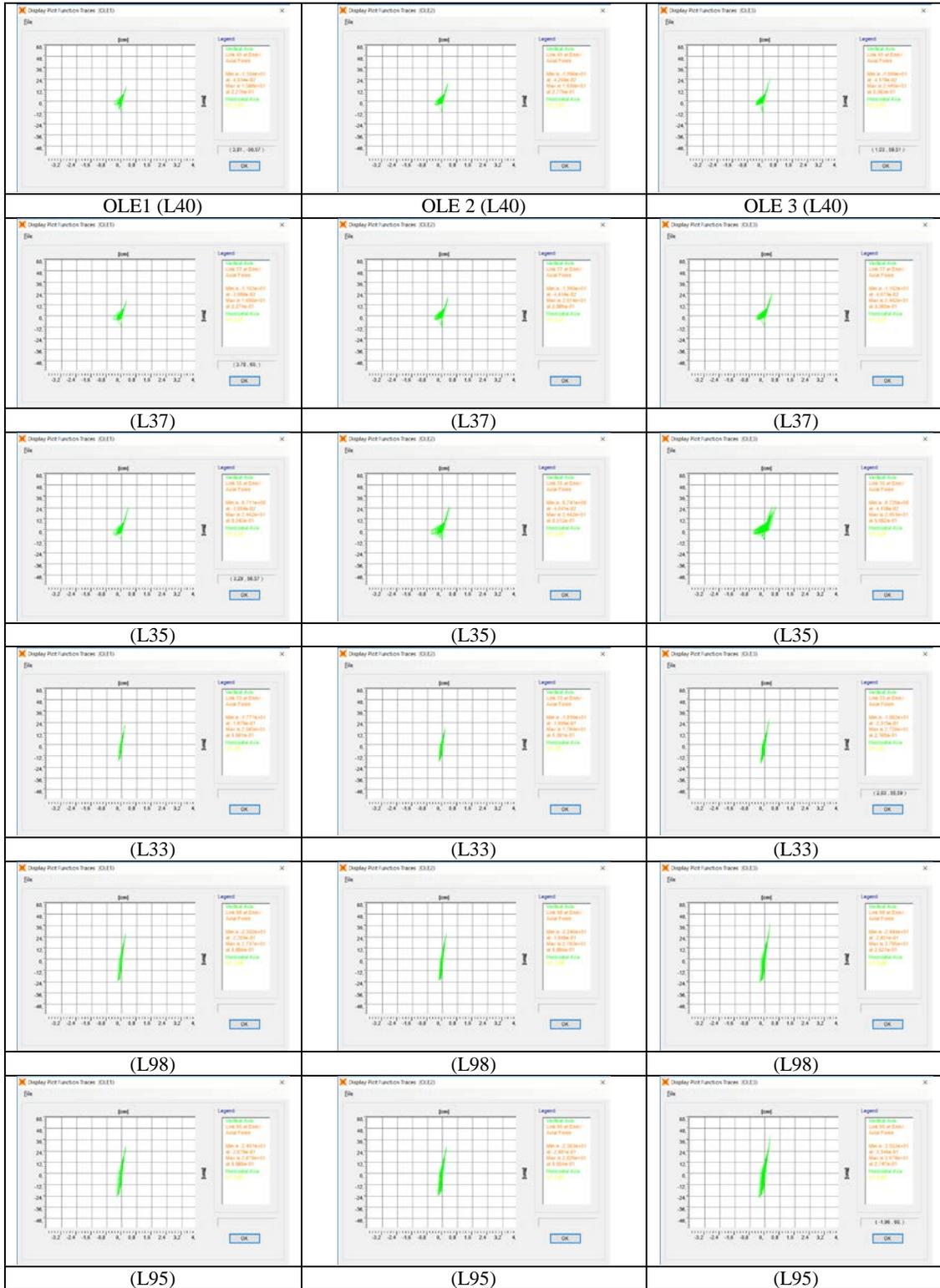
b) Curvas de Histéresis por piso OLE2 – Unidades en Ton y cm.

		
	(L52)	
		
	(L49)	
		
	(L53)	
		
(L55)	(L59)	(L57)
		
	(L8)	
		
	(L5)	

c) Curvas de Histéresis por piso OLE3 – Unidades en Ton y cm.

	 <p>Display Plot Function Tracer: (33.8.33)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis: Load (1) at (2000)</li> <li>Controlled Point: Load Point</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 2.47 (98.00)</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 2.47 (98.00)</li> </ul> <p>(2.47, 98.00)</p> <p>OK</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Tracer: (33.8.33)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis: Load (1) at (2000)</li> <li>Controlled Point: Load Point</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 3.79 (149.00)</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 3.79 (149.00)</li> </ul> <p>(3.79, 149.00)</p> <p>OK</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Tracer: (33.8.33)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis: Load (1) at (2000)</li> <li>Controlled Point: Load Point</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 3.38 (133.00)</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 3.38 (133.00)</li> </ul> <p>(3.38, 133.00)</p> <p>OK</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Tracer: (33.8.33)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis: Load (1) at (2000)</li> <li>Controlled Point: Load Point</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 2.89 (113.00)</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 2.89 (113.00)</li> </ul> <p>(2.89, 113.00)</p> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer: (33.8.33)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis: Load (1) at (2000)</li> <li>Controlled Point: Load Point</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 1.82 (70.00)</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 1.82 (70.00)</li> </ul> <p>(1.82, 70.00)</p> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer: (33.8.33)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis: Load (1) at (2000)</li> <li>Controlled Point: Load Point</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 1.82 (70.00)</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 1.82 (70.00)</li> </ul> <p>(1.82, 70.00)</p> <p>OK</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Tracer: (33.8.33)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis: Load (1) at (2000)</li> <li>Controlled Point: Load Point</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 4.20 (163.00)</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 4.20 (163.00)</li> </ul> <p>(4.2000, 163.00)</p> <p>OK</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Tracer: (33.8.33)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis: Load (1) at (2000)</li> <li>Controlled Point: Load Point</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 2.25 (87.00)</li> <li>Min: 0.2 (1000.00)</li> <li>Max: 2.25 (87.00)</li> </ul> <p>(2.25, 87.00)</p> <p>OK</p>	
	(L5)	

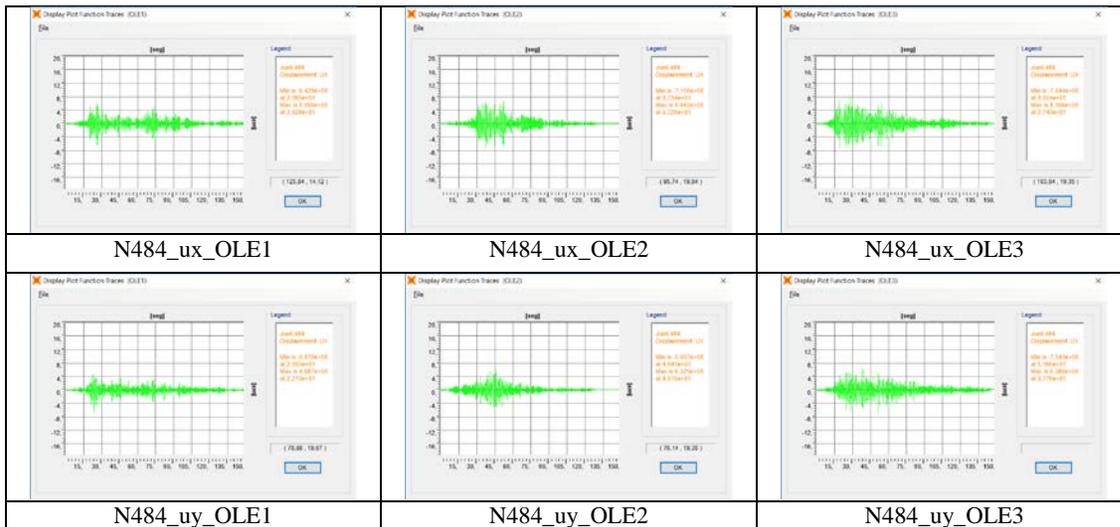
d) Curvas de Histéresis por pisos OLE Elevación H



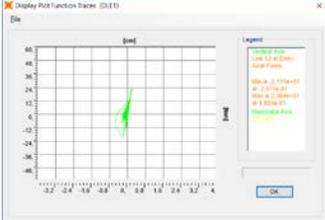
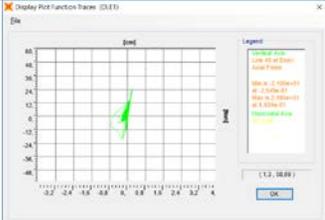
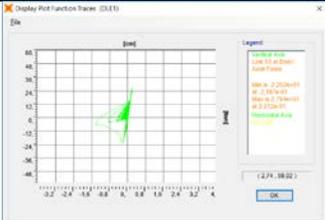
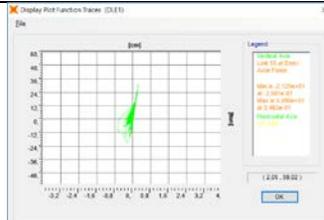
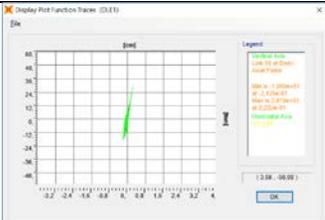
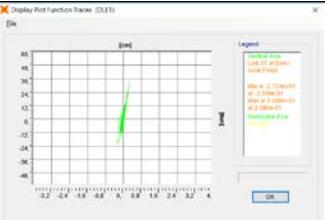
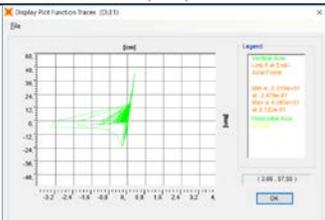
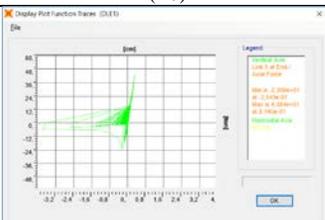
e) Desplazamientos Tiempo Historia OLE.

Los desplazamientos máximos son los siguientes:

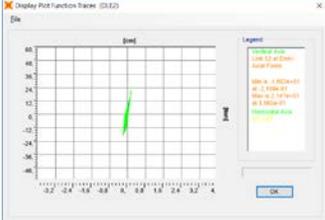
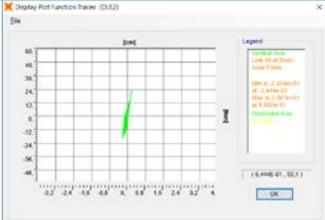
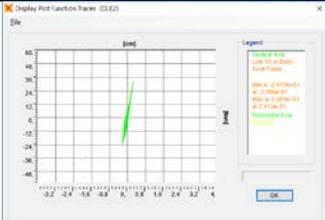
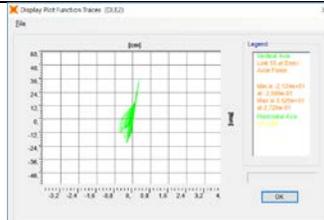
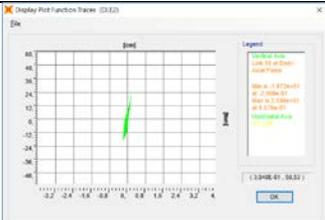
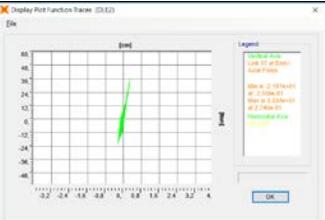
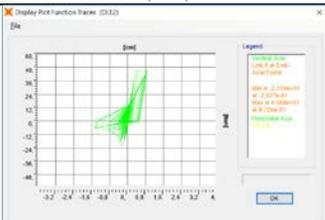
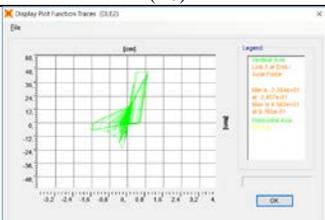
N484	OLE1		OLE2		OLE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	-6,43	25,95	-7,158	37,3	-8,16	27,4
Uy_max	-6,87	23,53	6,32	46,15	-7,04	51,06



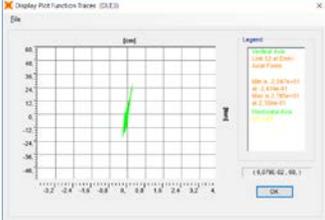
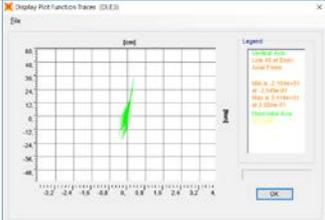
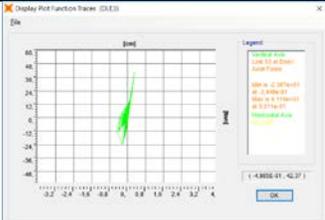
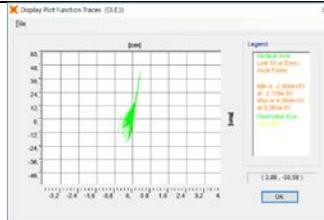
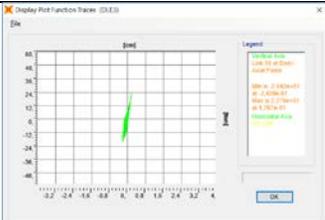
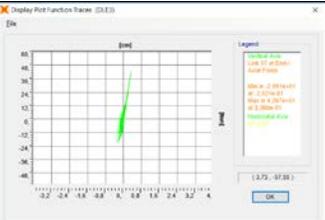
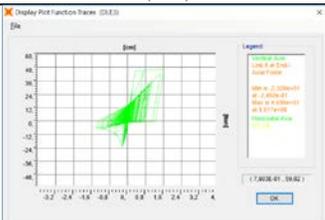
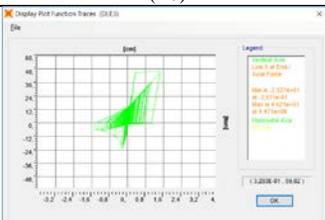
f) Curvas de Histéresis por piso. DLE1 – Unidades en Ton y cm.

	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (in)</li> </ul> <p>12.00, 18.00</p> <p>OK</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (in)</li> </ul> <p>11.1, 16.68</p> <p>OK</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (in)</li> </ul> <p>12.74, 18.00</p> <p>OK</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (in)</li> </ul> <p>12.00, 18.00</p> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (in)</li> </ul> <p>13.00, 16.98</p> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (in)</li> </ul> <p>13.00, 16.98</p> <p>OK</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (in)</li> </ul> <p>13.00, 17.38</p> <p>OK</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (in)</li> </ul> <p>13.00, 17.38</p> <p>OK</p>	
	(L5)	

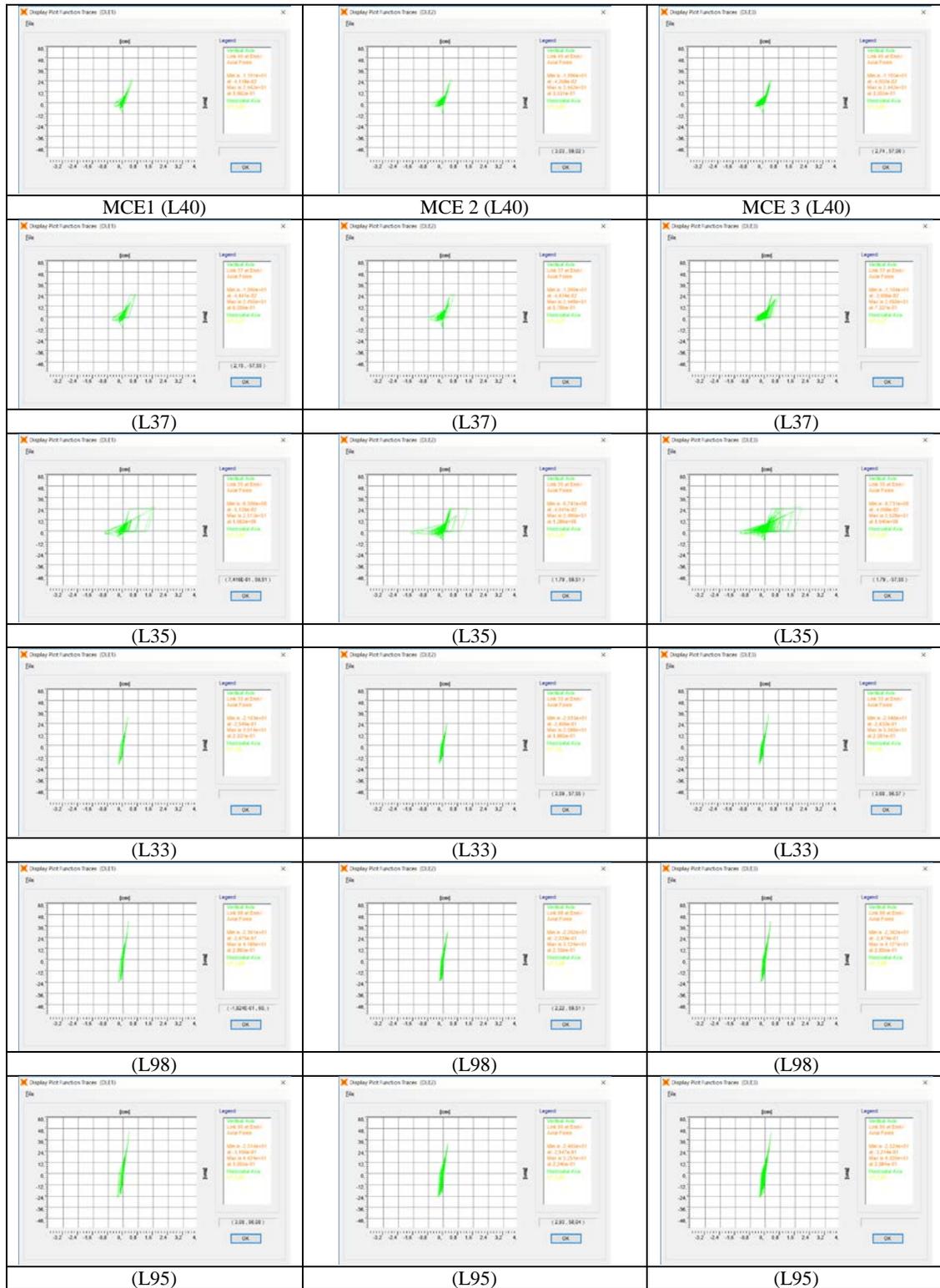
g) Curvas de Histéresis por piso. DLE2 – Unidades en Ton y cm.

	 <p>(L52)</p>	
	 <p>(L49)</p>	
	 <p>(L53)</p>	
 <p>(L55)</p>	 <p>(L59)</p>	 <p>(L57)</p>
	 <p>(L8)</p>	
	 <p>(L5)</p>	

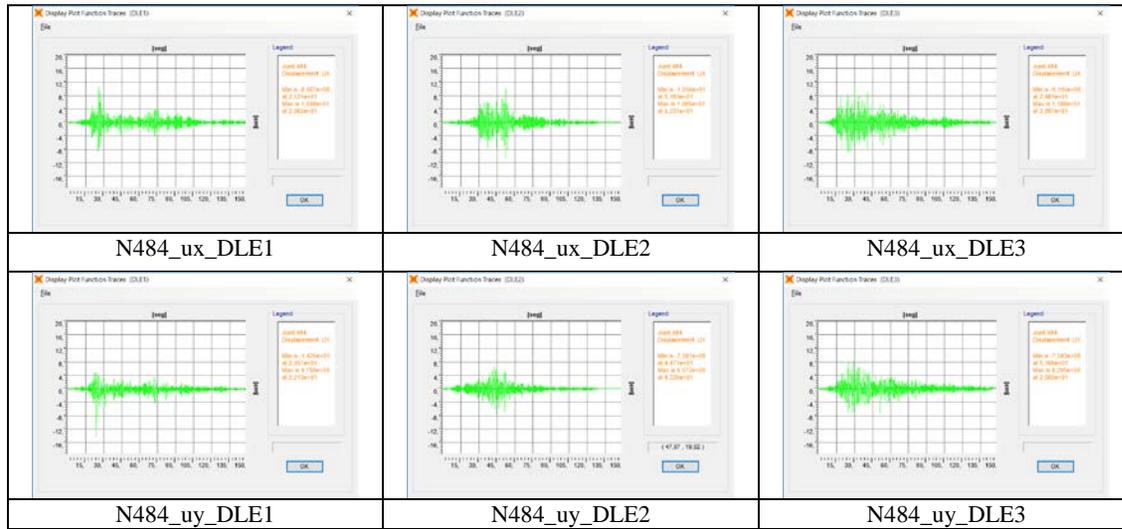
h) Curvas de Histéresis por piso. DLE3 – Unidades en Ton y cm.

	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (mm)</li> </ul> <p>1.6576E+02, 46.1</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (mm)</li> </ul> <p>1.4905E+02, 42.37</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (mm)</li> </ul> <p>1.3186E+02, 39.99</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (mm)</li> </ul> <p>1.3186E+02, 39.99</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (mm)</li> </ul> <p>1.7303E+02, 50.62</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (mm)</li> </ul> <p>1.8771E+02, 53.99</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (mm)</li> </ul> <p>1.7303E+02, 50.62</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load (kN)</li> <li>Load (Ton)</li> <li>Displacement (cm)</li> <li>Displacement (mm)</li> </ul> <p>1.3203E+02, 50.62</p>	
	(L5)	

i) Curvas de Histéresis por pisos DLE Elevación H



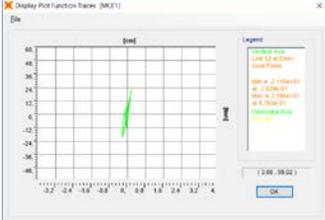
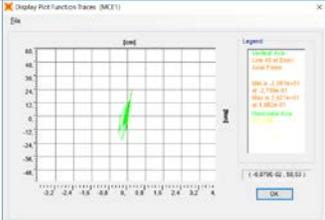
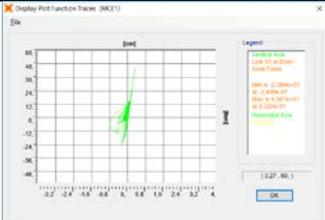
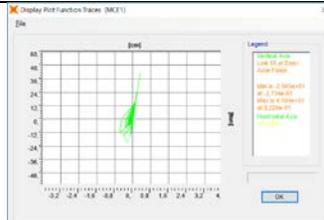
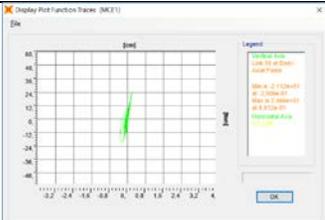
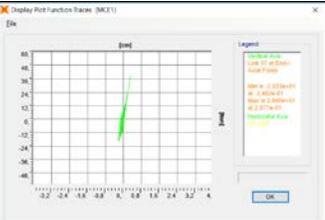
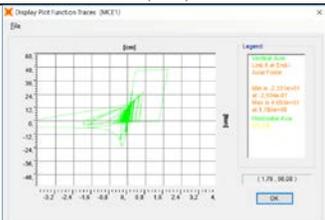
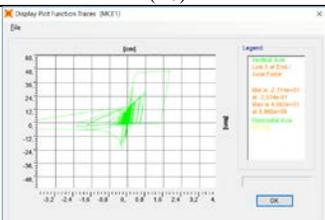
j) Desplazamientos – Tiempo Historia DLE.



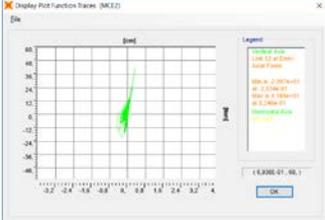
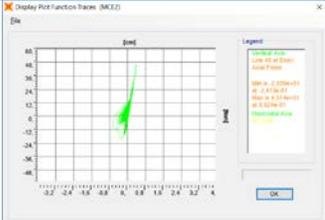
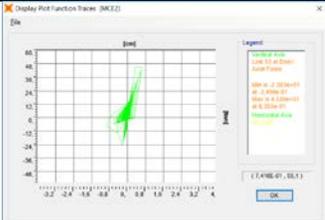
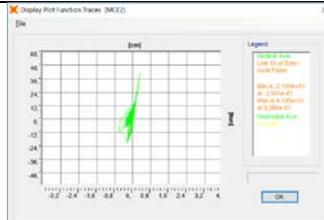
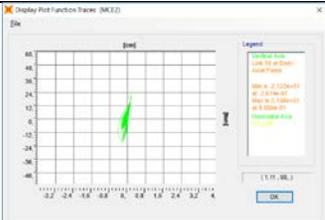
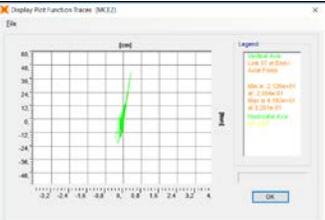
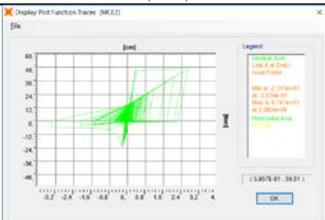
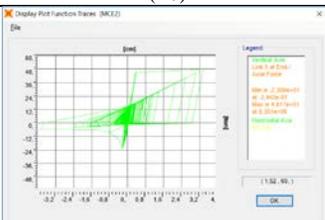
Los desplazamientos máximos son los siguientes:

N484	DLE1		DLE2		DLE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	10,38	25,63	-10,56	51,93	11,08	29,97
Uy_max	-14,26	23,57	-7,58	44,71	8,2	25,05

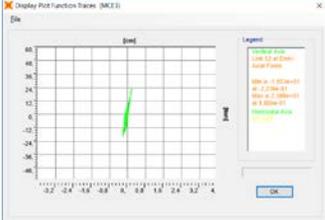
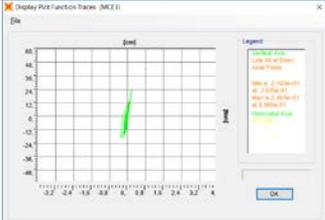
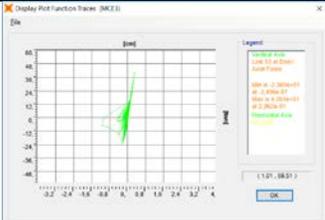
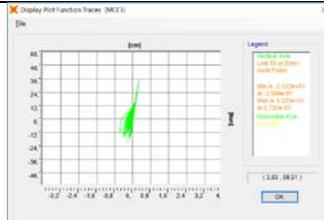
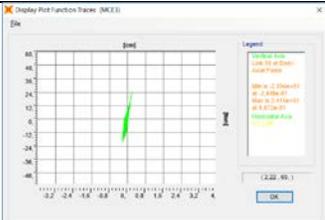
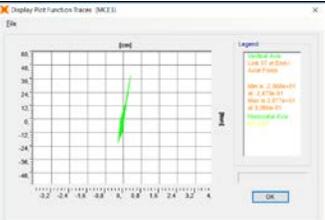
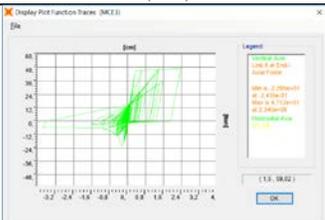
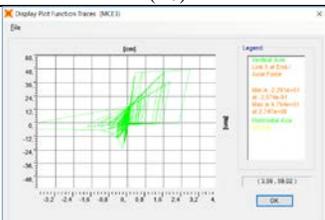
k) Curvas de Histéresis por piso. MCE1

	 <p>Display Plot Function Traces (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load vs Displacement</li> <li>Load vs Force</li> <li>Displacement vs Force</li> <li>Force vs Displacement</li> </ul> <p>1.349, 10.02</p>	
	(L52)	
	 <p>Display Plot Function Traces (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load vs Displacement</li> <li>Load vs Force</li> <li>Displacement vs Force</li> <li>Force vs Displacement</li> </ul> <p>1.4096, 10.33</p>	
	(L49)	
	 <p>Display Plot Function Traces (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load vs Displacement</li> <li>Load vs Force</li> <li>Displacement vs Force</li> <li>Force vs Displacement</li> </ul> <p>1.327, 10.1</p>	
	(L53)	
 <p>Display Plot Function Traces (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load vs Displacement</li> <li>Load vs Force</li> <li>Displacement vs Force</li> <li>Force vs Displacement</li> </ul> <p>1.349, 10.02</p>	 <p>Display Plot Function Traces (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load vs Displacement</li> <li>Load vs Force</li> <li>Displacement vs Force</li> <li>Force vs Displacement</li> </ul> <p>1.349, 10.02</p>	 <p>Display Plot Function Traces (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load vs Displacement</li> <li>Load vs Force</li> <li>Displacement vs Force</li> <li>Force vs Displacement</li> </ul> <p>1.349, 10.02</p>
(L55)	(L59)	(L57)
	 <p>Display Plot Function Traces (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load vs Displacement</li> <li>Load vs Force</li> <li>Displacement vs Force</li> <li>Force vs Displacement</li> </ul> <p>1.178, 10.28</p>	
	(L8)	
	 <p>Display Plot Function Traces (MCE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Load vs Displacement</li> <li>Load vs Force</li> <li>Displacement vs Force</li> <li>Force vs Displacement</li> </ul> <p>1.178, 10.28</p>	
	(L5)	

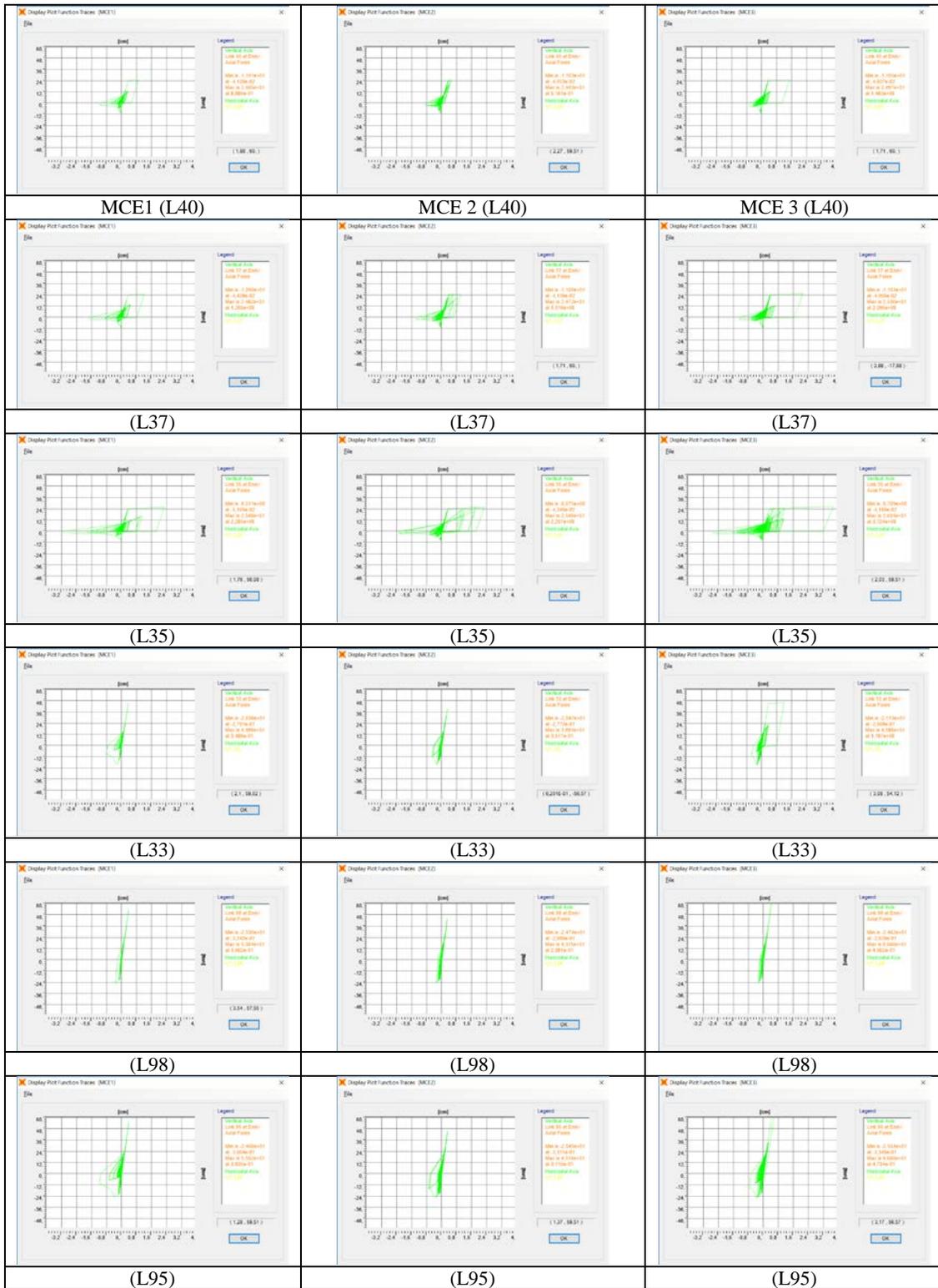
l) Curvas de Histéresis por piso. MCE2

		
	(L52)	
		
	(L49)	
		
	(L53)	
		
(L55)	(L59)	(L57)
		
	(L8)	
		
	(L5)	

m) Curvas de Histéresis por piso. MCE3

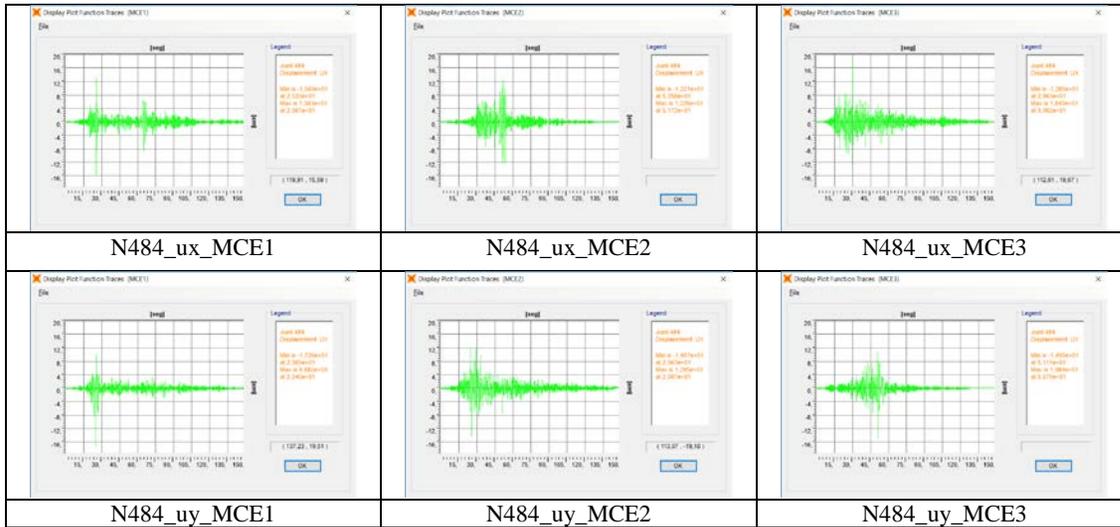
	 <p>(L52)</p>	
	 <p>(L49)</p>	
	 <p>(L53)</p>	
 <p>(L55)</p>	 <p>(L59)</p>	 <p>(L57)</p>
	 <p>(L8)</p>	
	 <p>(L5)</p>	

## n) Curvas de Histéresis por pisos MCE Elevación H



o) Desplazamiento de Techo.

A continuación, se presentan los desplazamientos de techo para las direcciones x e y.

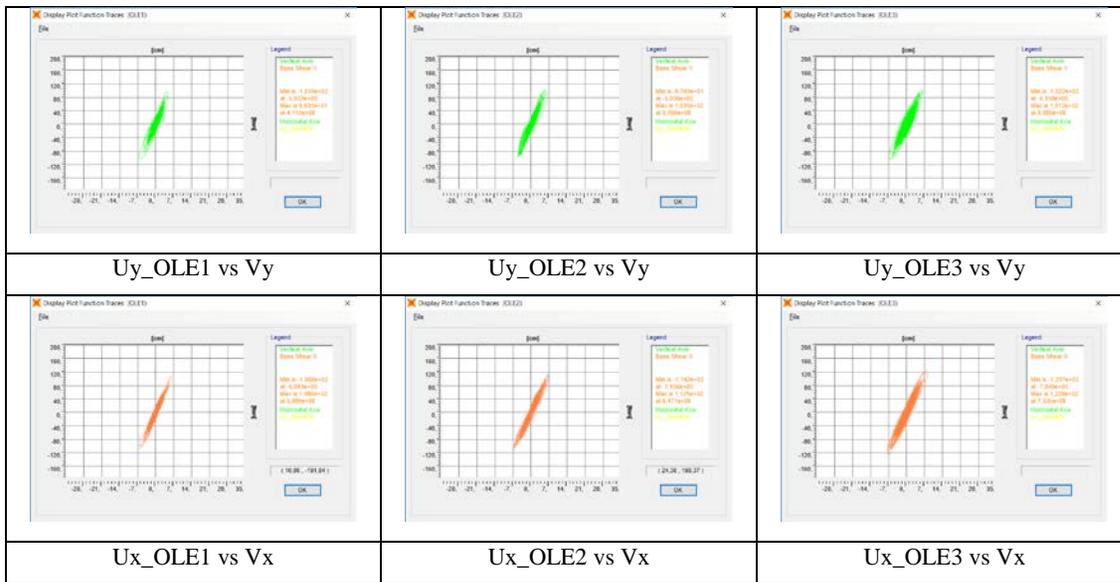


Los desplazamientos máximos son los siguientes:

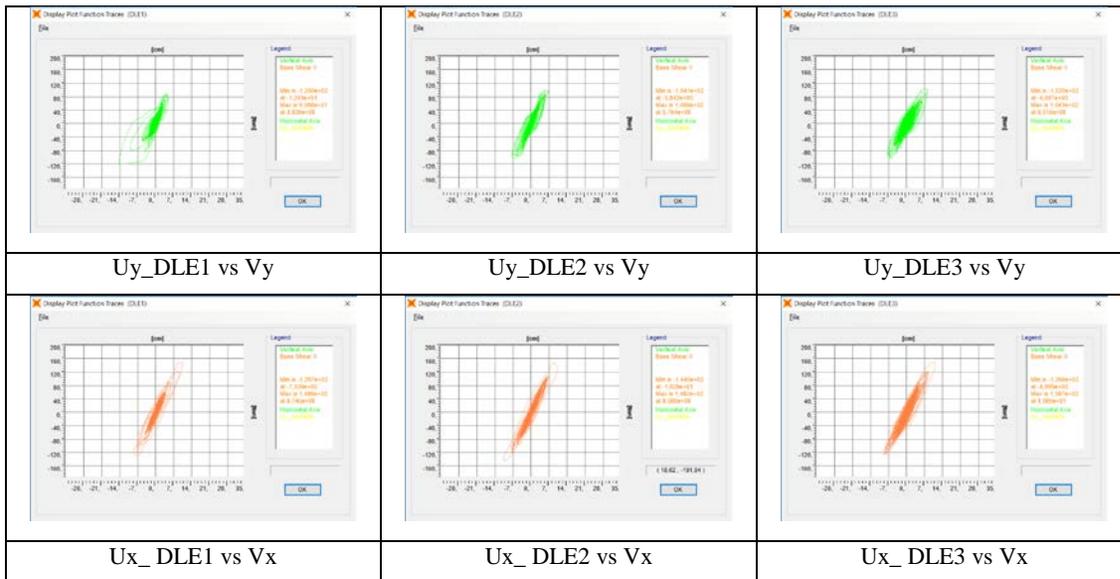
N484	MCE1		MCE2		MCE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	-15,60	25,33	12,26	51,72	18,45	30,02
Uy_max	-17,2	25,05	-14,07	25,63	-14,95	51,11

p) Corte Basal y Desplazamiento de Techo.

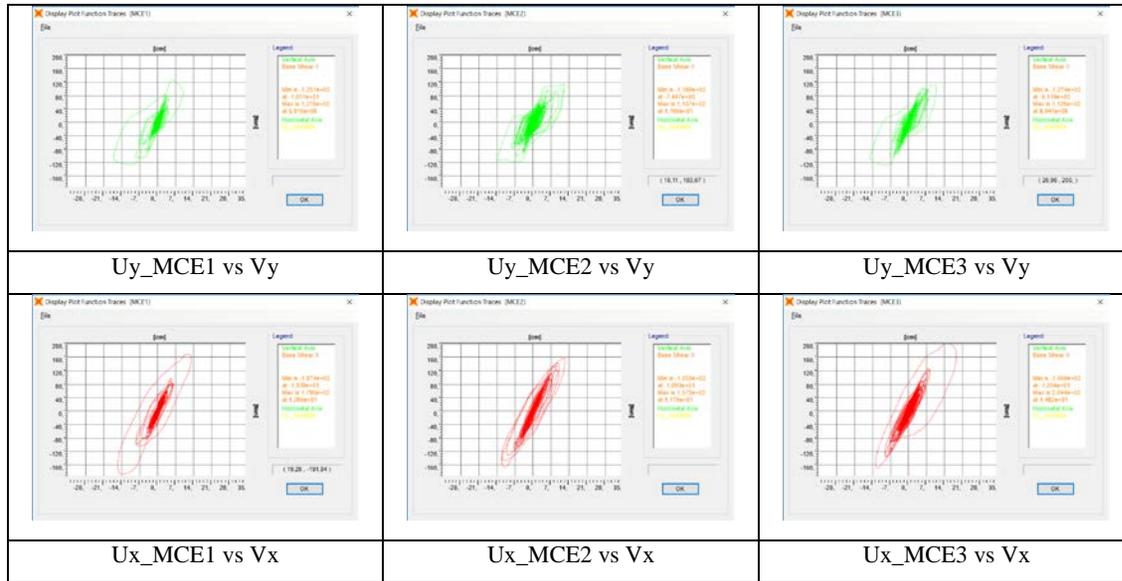
### Resultados OLE.



### Resultados DLE.



## Resultados MCE.



N484	MCE1		MCE2		MCE3	
	ton	cm	ton	cm	ton	cm
Vx_max	-187	-13,30	-166	-10,93	204	14,82
Vy_max	127	59,1	-119	-7,45	-127	-9,11

### VII.4.3 Verificación No Lineal Caso 3: BRB.

A partir de los resultados obtenidos del diseño elástico de los BRB se deben obtener la curva tensión deformación de cada uno de ellos.

El comportamiento no lineal de los BRB, a diferencia de las riostras convencionales, posee una simetría en las curvas de compresión y tracción.

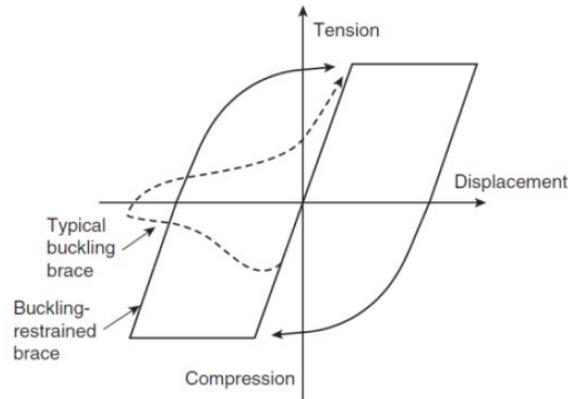


Figura VII.34: Curva de tensión deformación BRB y riostras convencionales.

Fuente: Bruneau, Wang, Sabelli, 2011.

Para modelar la no linealidad en CSI Sap2000 se consideran la curva histerética Multilinear Plastic – BRB Hardening. Para los prediseños que se presentan a continuación se considera:

Tensión de Fluencia:	2.530 kg/cm <sup>2</sup> .
Módulo de Young:	2.040 ton/cm <sup>2</sup> .
Factor de modificación de rigidez (Kf):	1,429
Factor de ajuste de fluencia (Ry = 42 ksi/36 ksi)	1,167 <sup>2</sup>

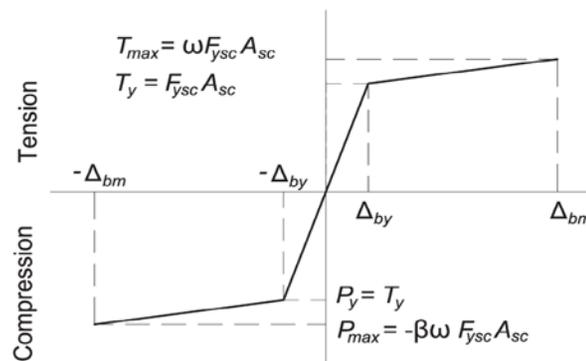
---

<sup>2</sup> Valor obtenido a partir del documento “Buckling Restrained Braced Frames Connection Design and Testing”, pag 89.

a) Curva de Histéresis – Multilinear Plastic – BRB Hardening.

De acuerdo a la configuración de las BRB seleccionadas, nueve son los tipos de dispositivos instalados, donde cada uno tiene una representación tensión deformación distinta. A continuación, se presenta una representación general normalizada del comportamiento de la BRB tanto en compresión como en tracción.

Cabe notar que la resistencia a compresión es superior que la tracción debido a que la diagonal está envuelta por un cilindro de acero y la interfaz entre el cilindro - BRB se encuentra el mortero.



$F_{ysc}$ : Tensión de fluencia esperada en el núcleo de acero del BRB. En este caso se considera A36  $F_y = 2.530 \text{ kg/cm}^2$ .

$A_{sc}$ : Área neta del núcleo de acero del BRB.

$\beta$ : Relación entre la fuerza de compresión última probable y la fuerza de tracción última probable del BRB. Para efectos de este estudio se considera  $\beta = 1,26$ .

$\omega$ : Relación entre la fuerza axial de fluencia probable en tracción y la fuerza axial última probable en tracción del BRB. Para efectos de este estudio se considera  $\omega = 1,17$ .

Los valores considerados para  $\beta$  y  $\omega$  son los valores promedios obtenidos de 24 BRB diseñadas por CoreBrace.

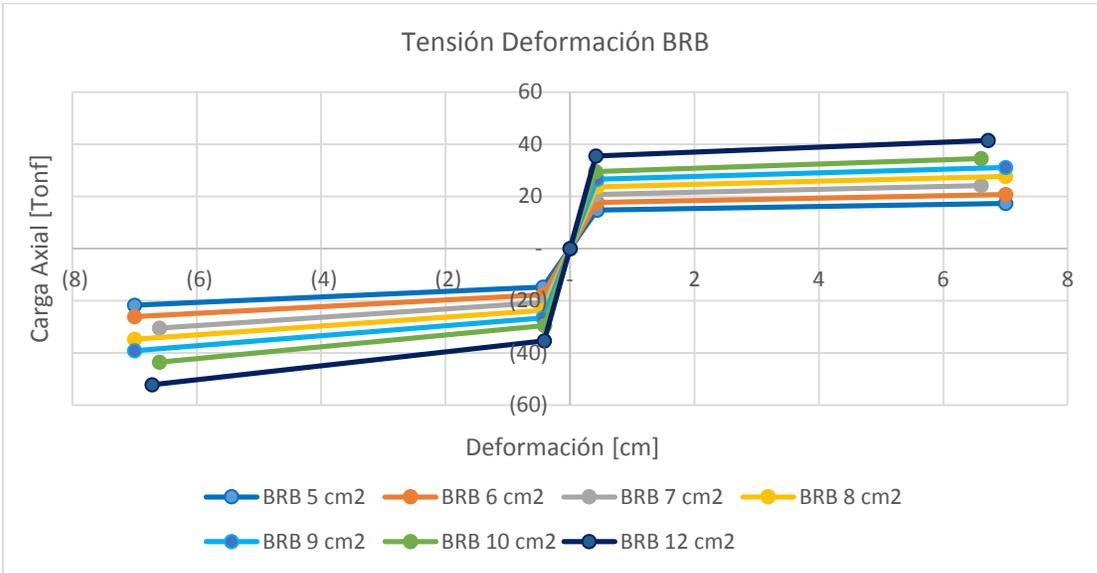
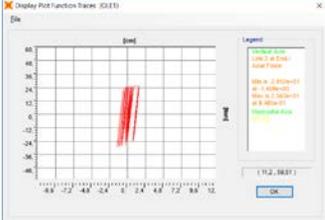
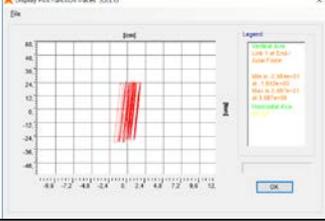
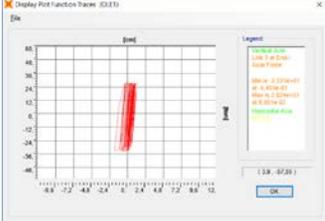
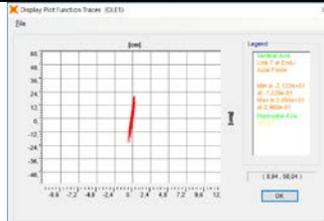
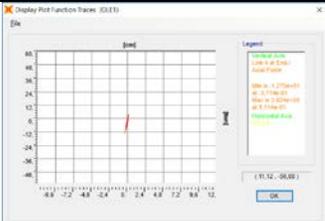
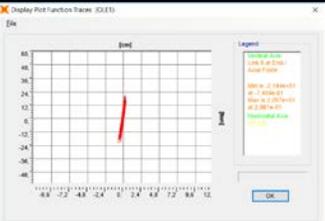
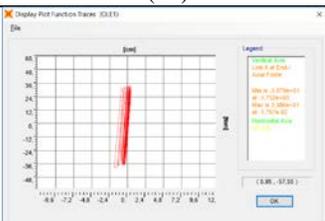
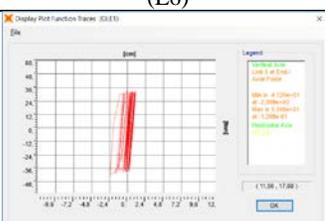


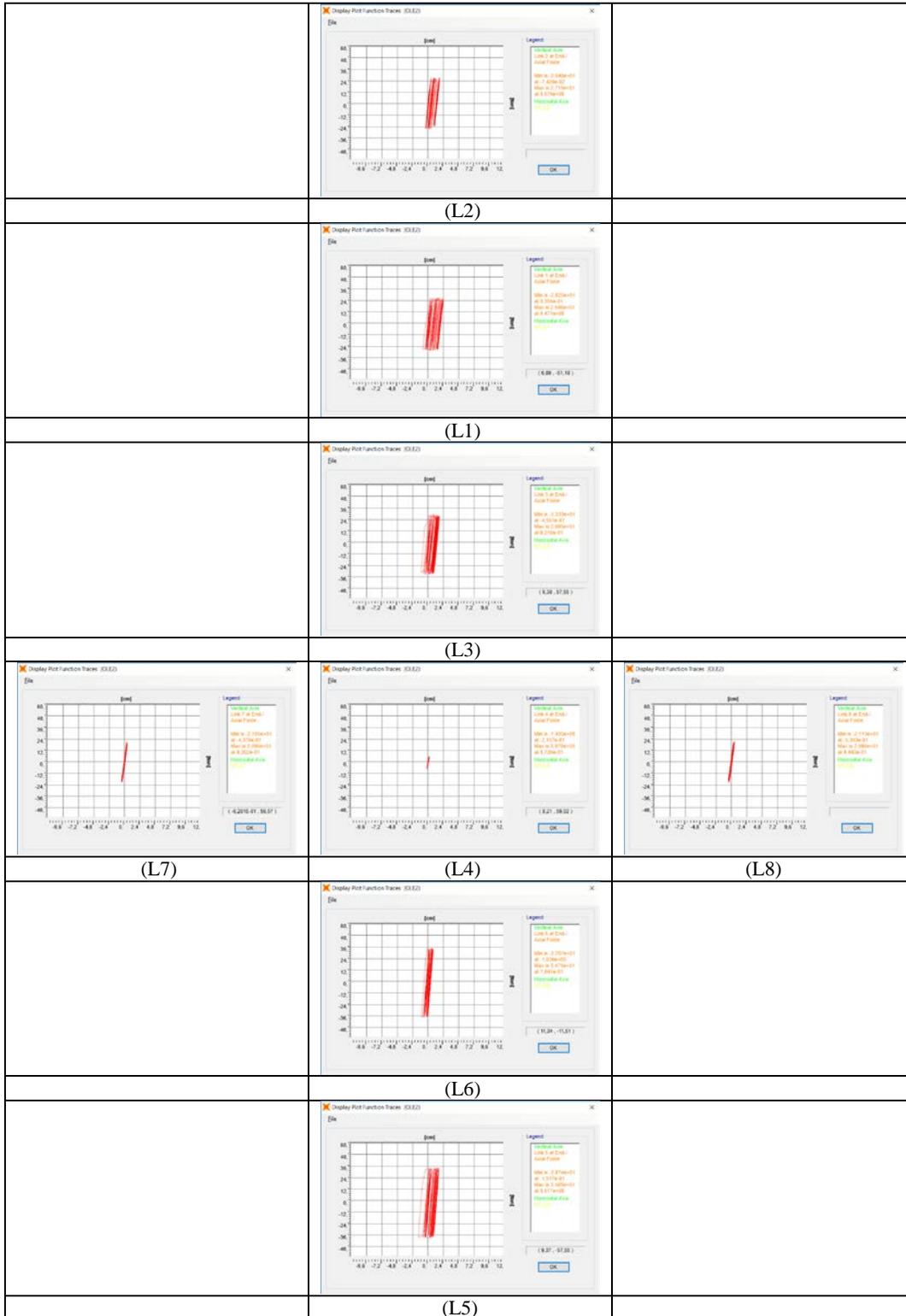
Gráfico VII.12: Tensión Deformación BRB

A continuación, se presentan las curvas histeréticas resultantes para los tres tipos de registros analizados OLE, DLE y MCE.

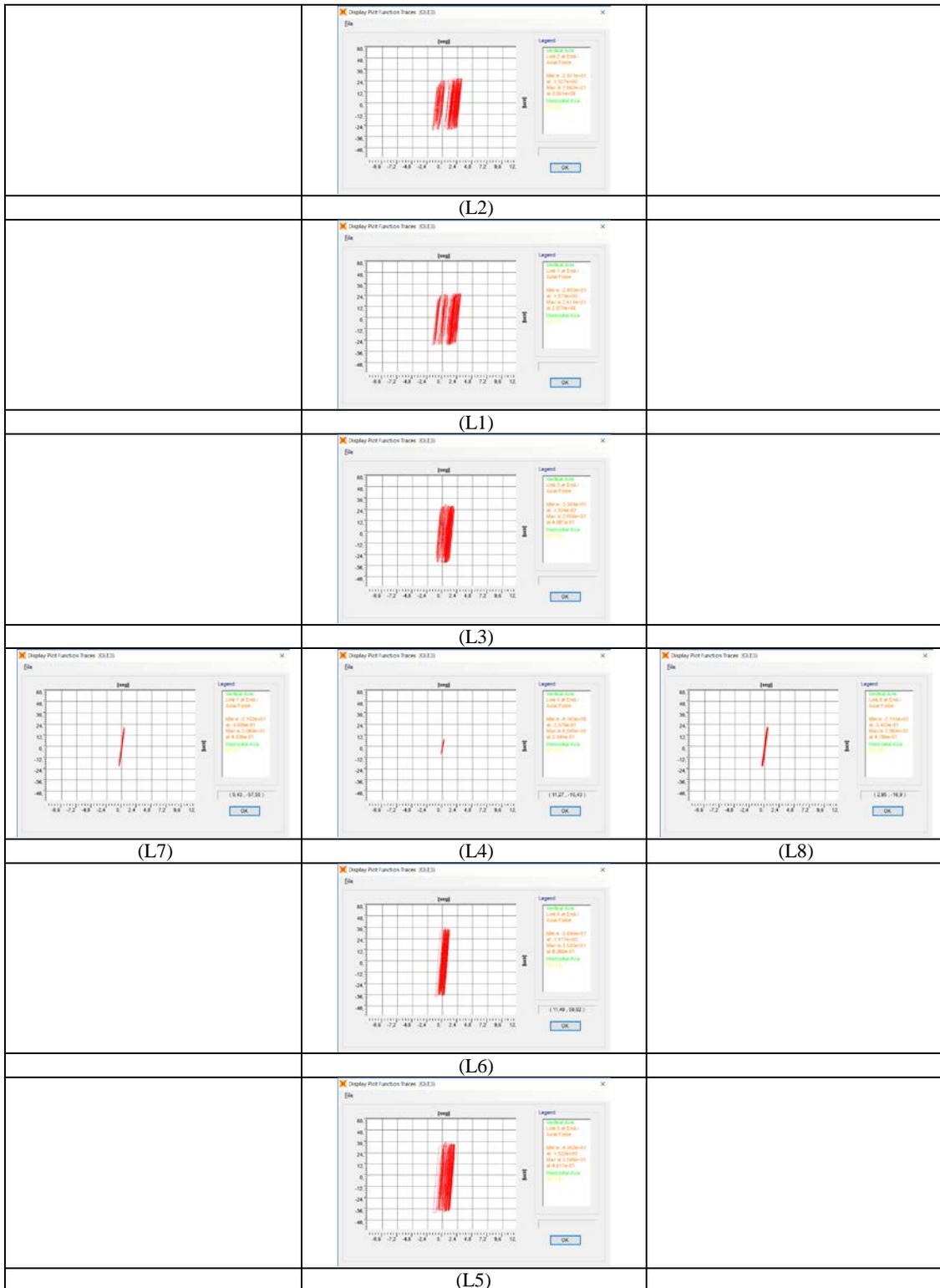
b) Curvas de Histéresis por piso. OLE1

	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: 0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> </ul> <p>(11.2, 36.0)</p>	
	(L2)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: 0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> </ul> <p>(11.2, 36.0)</p>	
	(L1)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: 0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> </ul> <p>(11.2, 36.0)</p>	
	(L3)	
 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: 0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> </ul> <p>(11.2, 36.0)</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: 0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> </ul> <p>(11.2, 36.0)</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: 0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> </ul> <p>(11.2, 36.0)</p>
(L7)	(L4)	(L8)
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: 0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> </ul> <p>(11.2, 36.0)</p>	
	(L6)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (OLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: -0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> <li>Min: 0.000000</li> <li>Max: 0.000000</li> </ul> <p>(11.2, 36.0)</p>	
	(L5)	

c) Curvas de Histéresis por piso. OLE2



d) Curvas de Histéresis por piso. OLE3

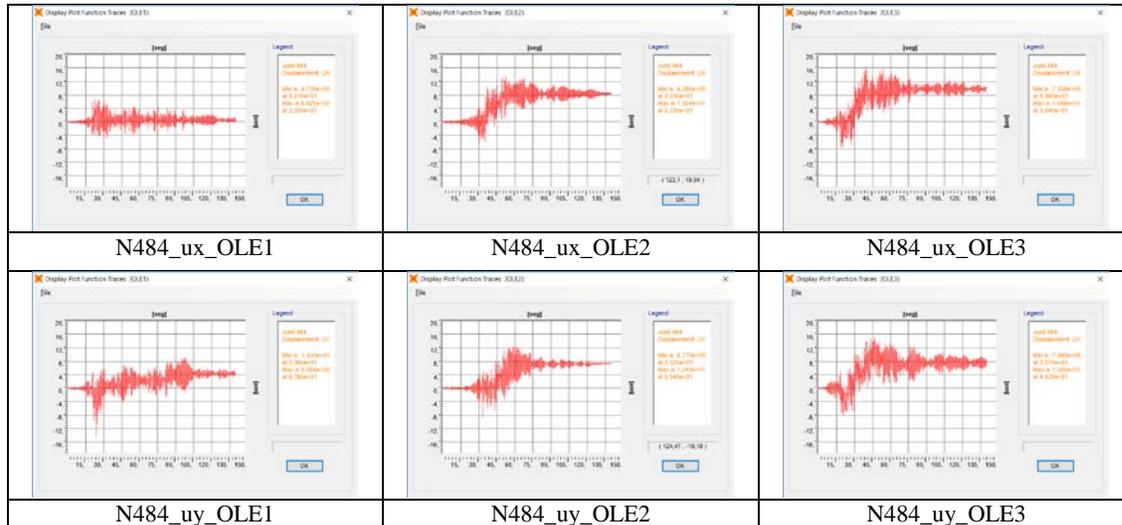


e) Curvas de Histéresis por pisos OLE Elevación H.



f) Desplazamiento de Techo OLE.

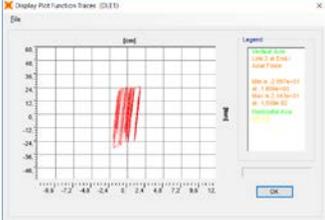
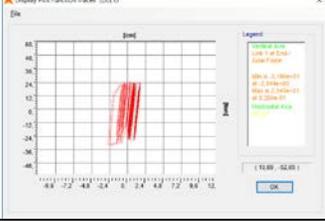
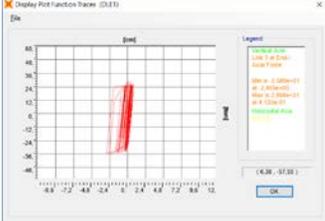
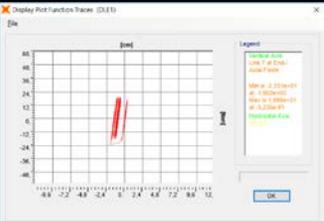
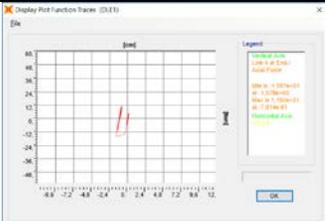
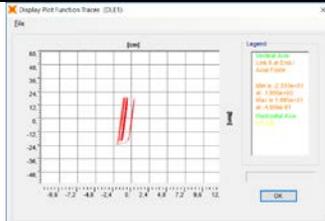
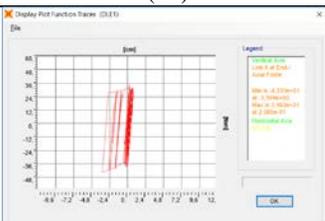
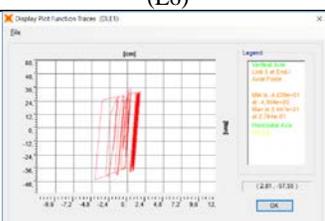
A continuación, se presentan los desplazamientos de techo para las direcciones x e y.



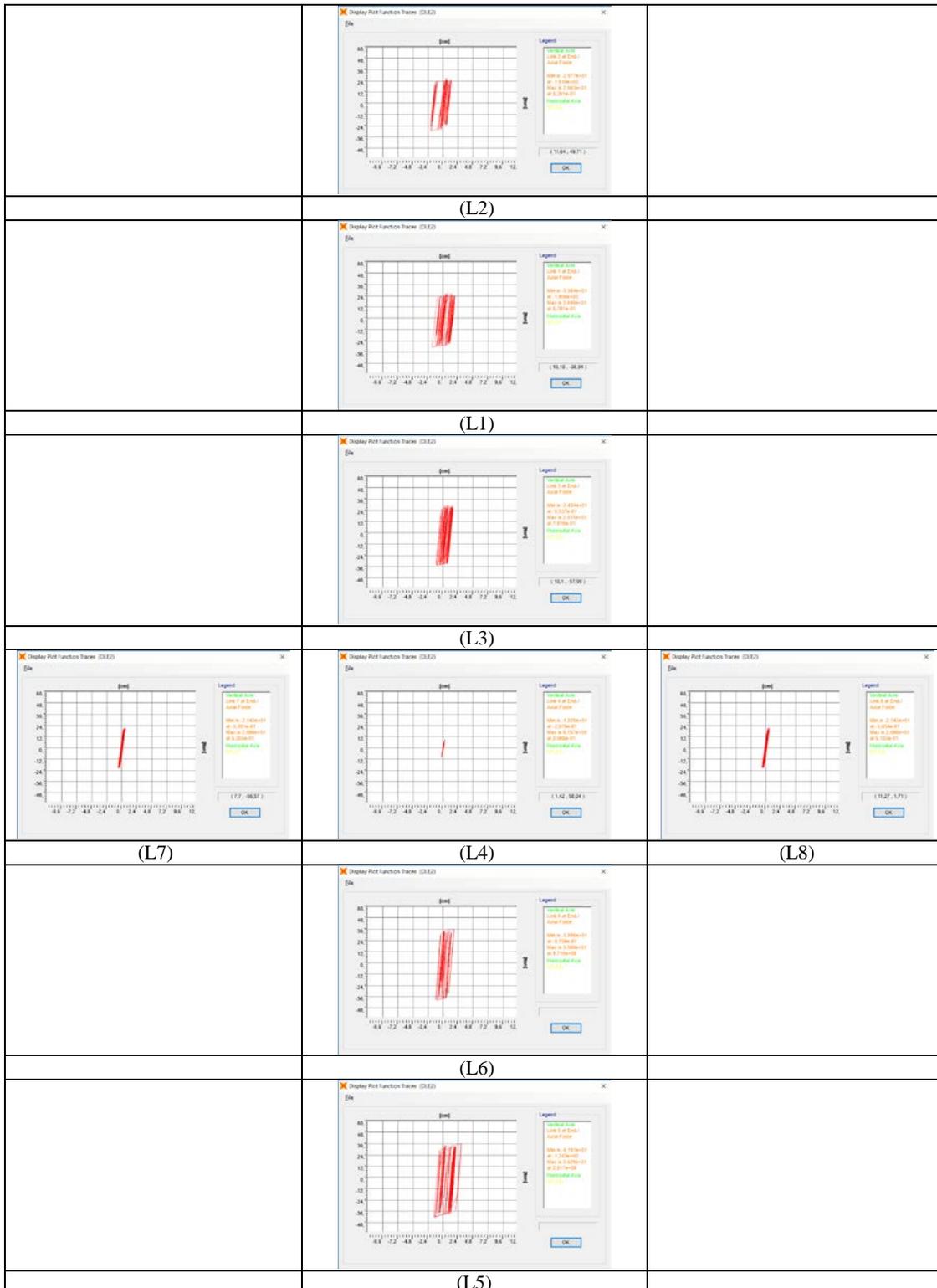
Los desplazamientos máximos son los siguientes:

N484	OLE1		OLE2		OLE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	6,82	22,5	13,4	52,3	16,5	39,4
Uy_max	-14,5	23,6	12,5	60,4	15,6	46,2

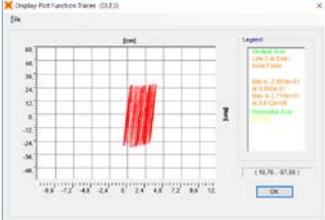
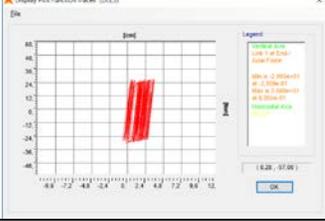
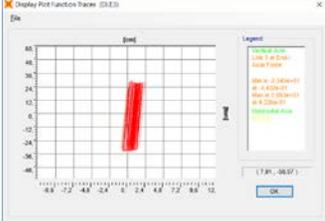
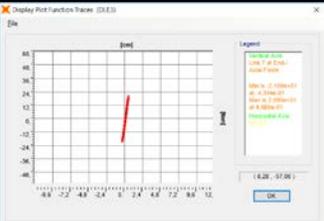
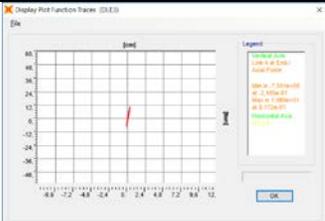
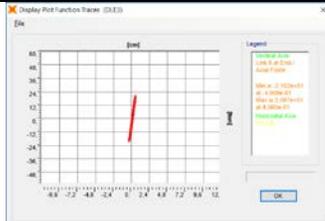
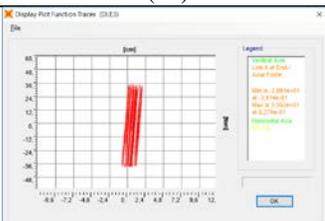
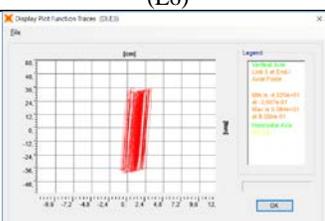
g) Curvas de Histéresis por piso. DLE1

	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 1.989e+01</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Hysteresis Area</li> <li>0.000e+00</li> </ul> <p>( 19.89, -52.00 )</p>	
	(L2)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 6.300e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Hysteresis Area</li> <li>0.000e+00</li> </ul> <p>( 6.30, -57.30 )</p>	
	(L1)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 6.300e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Hysteresis Area</li> <li>0.000e+00</li> </ul> <p>( 6.30, -57.30 )</p>	
	(L3)	
 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 2.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Hysteresis Area</li> <li>0.000e+00</li> </ul>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 2.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Hysteresis Area</li> <li>0.000e+00</li> </ul>	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 2.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Hysteresis Area</li> <li>0.000e+00</li> </ul>
(L7)	(L4)	(L8)
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 2.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Hysteresis Area</li> <li>0.000e+00</li> </ul>	
	(L6)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (DLE1)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Control Force</li> <li>Load Force</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 2.000e+00</li> <li>Min. = 0.000e+00</li> <li>Max. = 0.000e+00</li> <li>Hysteresis Area</li> <li>0.000e+00</li> </ul> <p>( 2.00, -57.30 )</p>	
	(L5)	

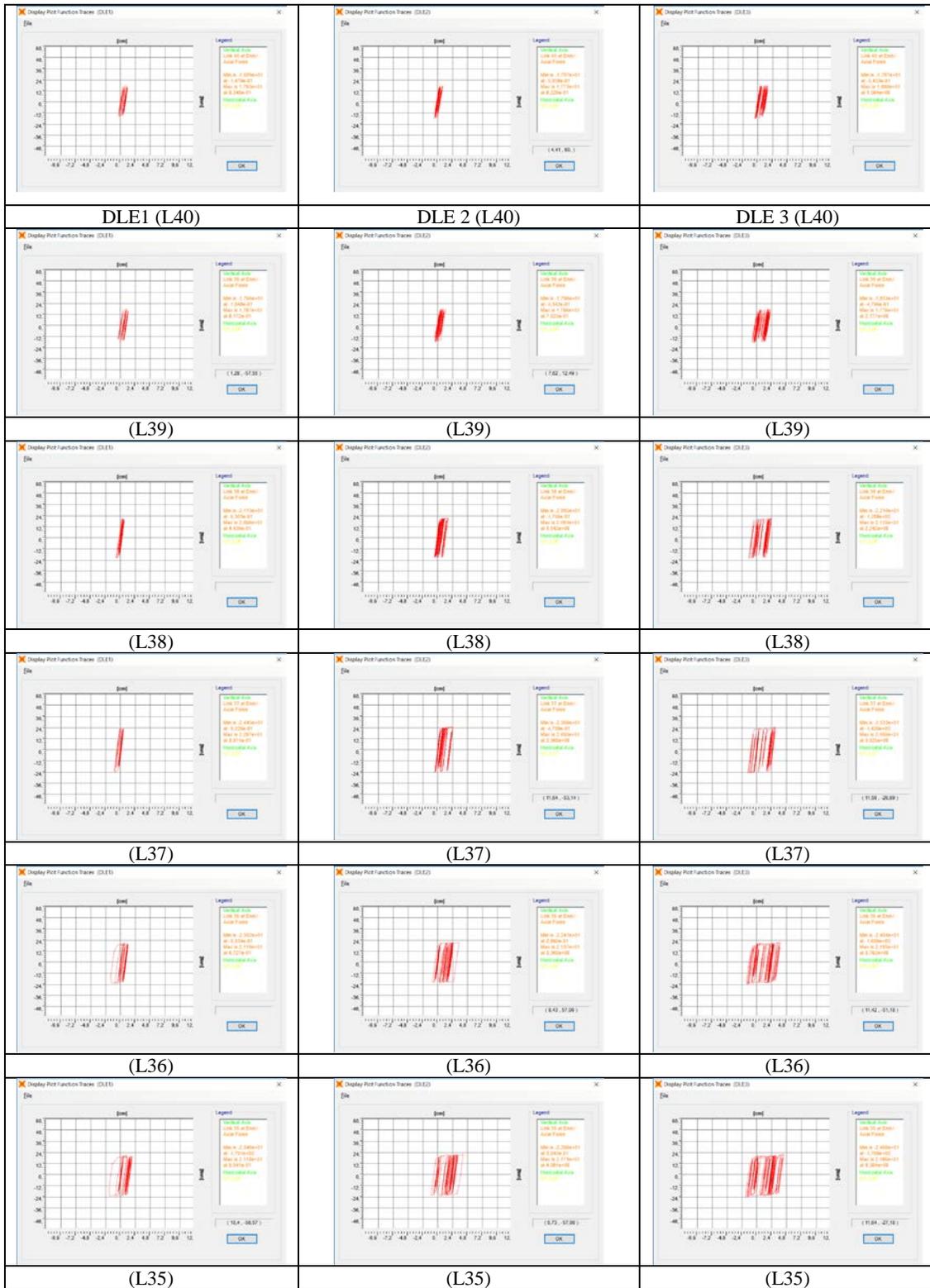
## h) Curvas de Histéresis por piso. DLE2



i) Curvas de Histéresis por piso. DLE3

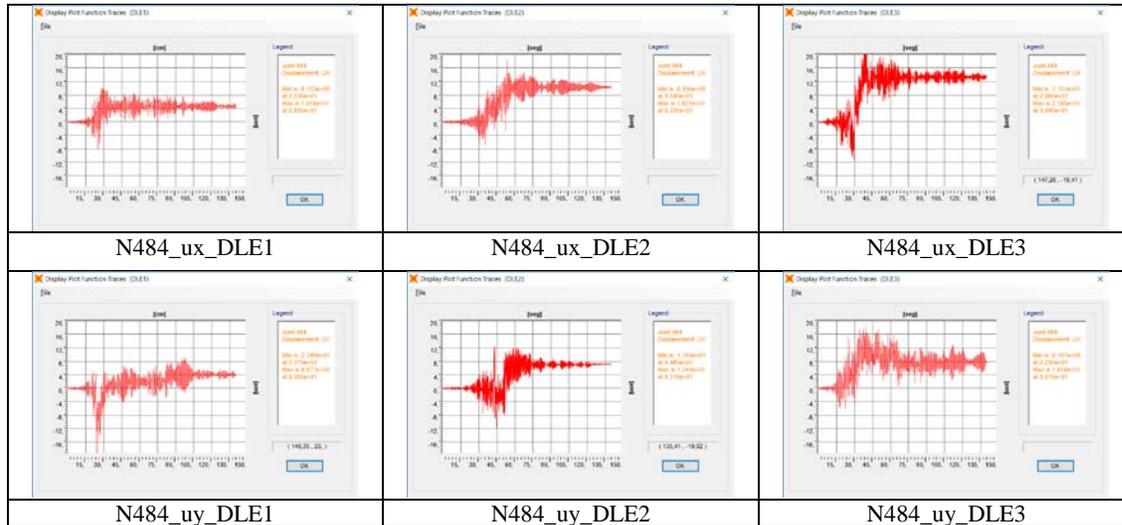
		
	(L2)	
		
	(L1)	
		
	(L3)	
		
(L7)	(L4)	(L8)
		
	(L6)	
		
	(L5)	

j) Curvas de Histéresis por pisos DLE Elevación H.



k) Desplazamiento de Techo.

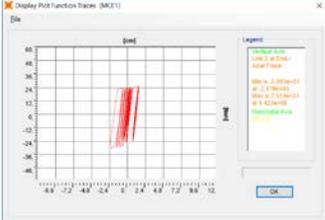
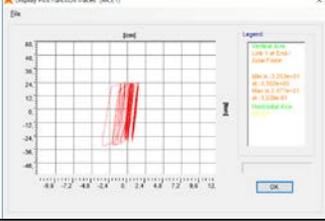
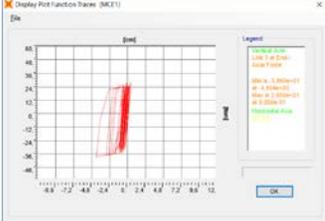
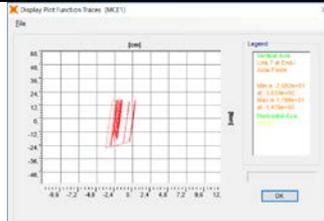
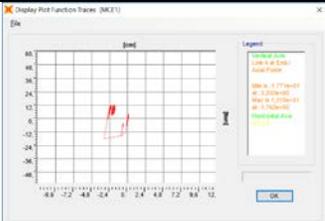
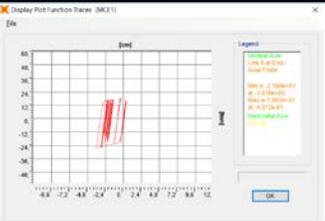
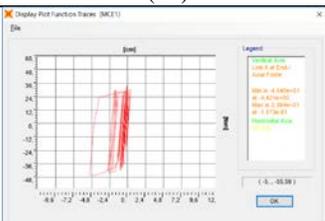
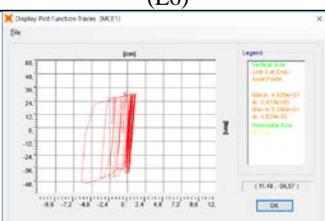
A continuación, se presentan los desplazamientos de techo para las direcciones x e y.



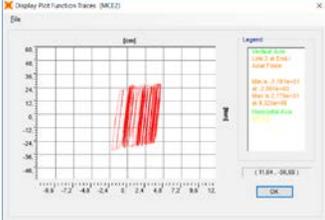
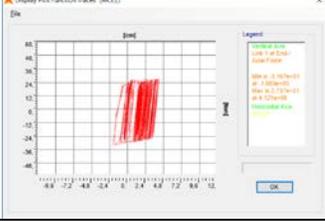
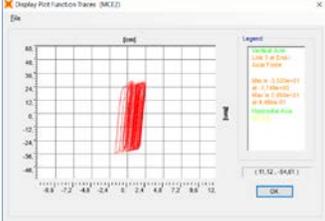
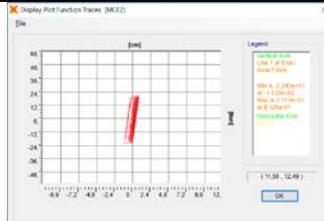
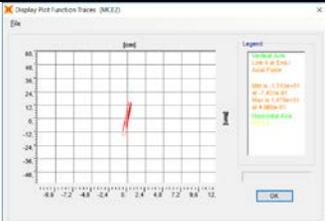
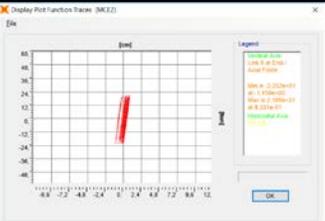
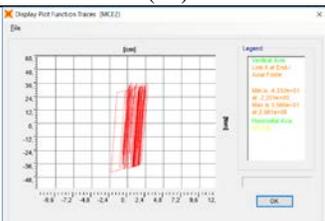
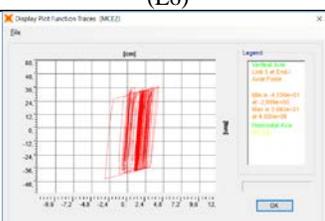
Los desplazamientos máximos son los siguientes:

N484	DLE1		DLE2		DLE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	10,2	28,3	18,2	53,3	21,9	39,4
Uy_max	-23,5	23,7	12,4	43,1	18,2	39,1

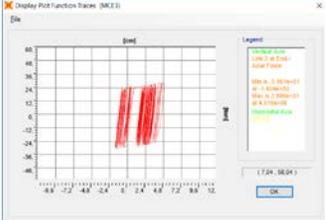
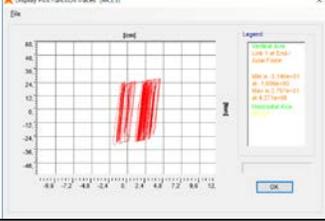
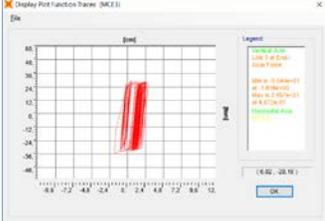
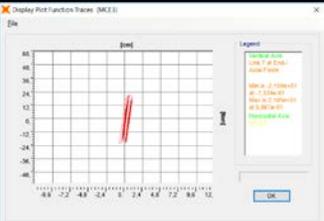
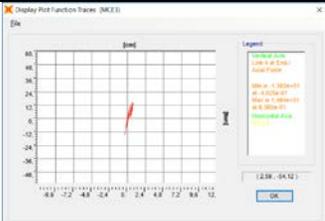
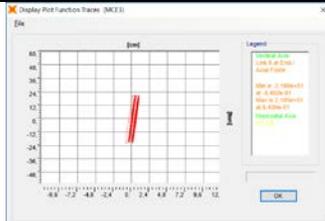
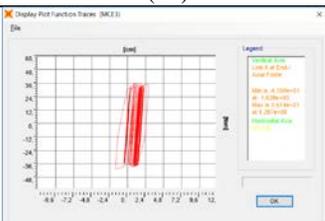
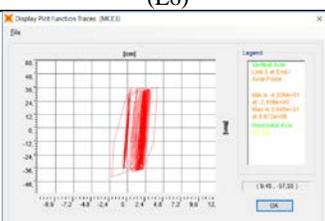
l) Curvas de Histéresis por piso. MCE1

		
	(L2)	
		
	(L1)	
		
	(L3)	
		
(L7)	(L4)	(L8)
		
	(L6)	
		
	(L5)	

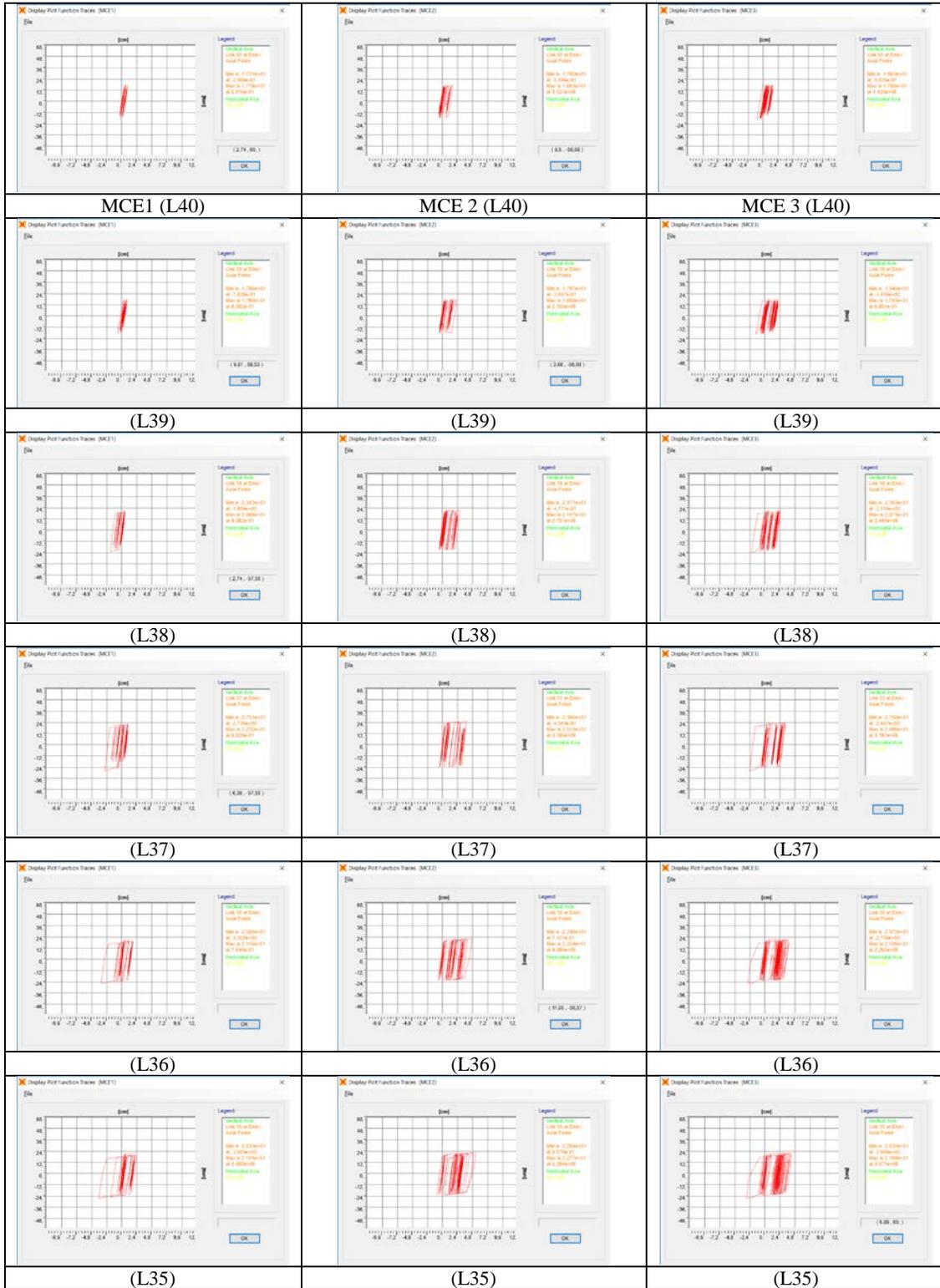
m) Curvas de Histéresis por piso. MCE2

	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE2)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P (N)</li> <li>Load F (kN)</li> <li>Min. = 2.77e+05</li> <li>Max. = 2.77e+05</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> </ul> <p>(L2)</p>	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE2)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P (N)</li> <li>Load F (kN)</li> <li>Min. = 2.77e+05</li> <li>Max. = 2.77e+05</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> </ul> <p>(L1)</p>	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE2)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P (N)</li> <li>Load F (kN)</li> <li>Min. = 2.22e+05</li> <li>Max. = 2.22e+05</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> </ul> <p>(L3)</p>	
 <p>Display Plot Function Tracer (MCE2)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P (N)</li> <li>Load F (kN)</li> <li>Min. = 2.28e+05</li> <li>Max. = 2.28e+05</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> </ul> <p>(L7)</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE2)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P (N)</li> <li>Load F (kN)</li> <li>Min. = 2.22e+05</li> <li>Max. = 2.22e+05</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> </ul> <p>(L4)</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE2)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P (N)</li> <li>Load F (kN)</li> <li>Min. = 2.22e+05</li> <li>Max. = 2.22e+05</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> </ul> <p>(L8)</p>
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE2)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P (N)</li> <li>Load F (kN)</li> <li>Min. = 2.22e+05</li> <li>Max. = 2.22e+05</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> </ul> <p>(L6)</p>	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE2)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P (N)</li> <li>Load F (kN)</li> <li>Min. = 2.22e+05</li> <li>Max. = 2.22e+05</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> <li>Min. = 0</li> <li>Max. = 0</li> </ul> <p>(L5)</p>	

n) Curvas de Histéresis por piso. MCE3

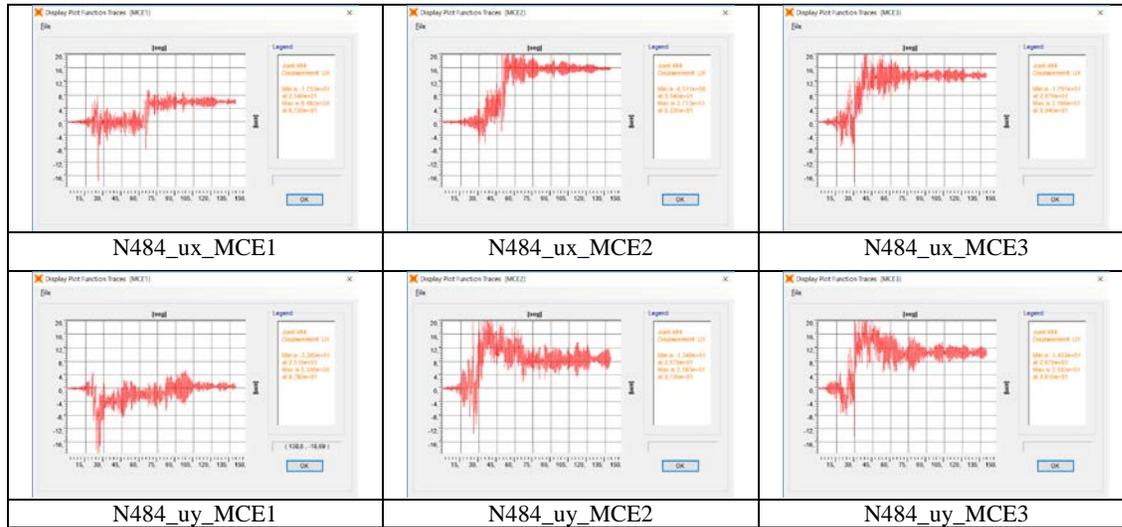
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P. 2nd</li> <li>Load P. 1st</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 17.910000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> </ul> <p>17.91 - 04.24</p> <p>OK</p>	
	(L2)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P. 2nd</li> <li>Load P. 1st</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 17.910000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> </ul> <p>17.91 - 04.24</p> <p>OK</p>	
	(L1)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P. 2nd</li> <li>Load P. 1st</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 6.020000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> </ul> <p>6.02 - 04.16</p> <p>OK</p>	
	(L3)	
 <p>Display Plot Function Tracer (MCE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P. 2nd</li> <li>Load P. 1st</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 2.380000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> </ul> <p>2.38 - 04.12</p> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P. 2nd</li> <li>Load P. 1st</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 2.380000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> </ul> <p>2.38 - 04.12</p> <p>OK</p>	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P. 2nd</li> <li>Load P. 1st</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 2.380000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> </ul> <p>2.38 - 04.12</p> <p>OK</p>
(L7)	(L4)	(L8)
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P. 2nd</li> <li>Load P. 1st</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 9.450000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> </ul> <p>9.45 - 04.30</p> <p>OK</p>	
	(L6)	
	 <p>Display Plot Function Tracer (MCE3)</p> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlled Axis</li> <li>Load P. 2nd</li> <li>Load P. 1st</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 9.450000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> <li>Min. = 0.000000</li> <li>Max. = 0.000000</li> </ul> <p>9.45 - 04.30</p> <p>OK</p>	
	(L5)	

o) Curvas de Histéresis por pisos MCE Elevación H.



p) Desplazamiento de Techo.

A continuación, se presentan los desplazamientos de techo para las direcciones x e y.



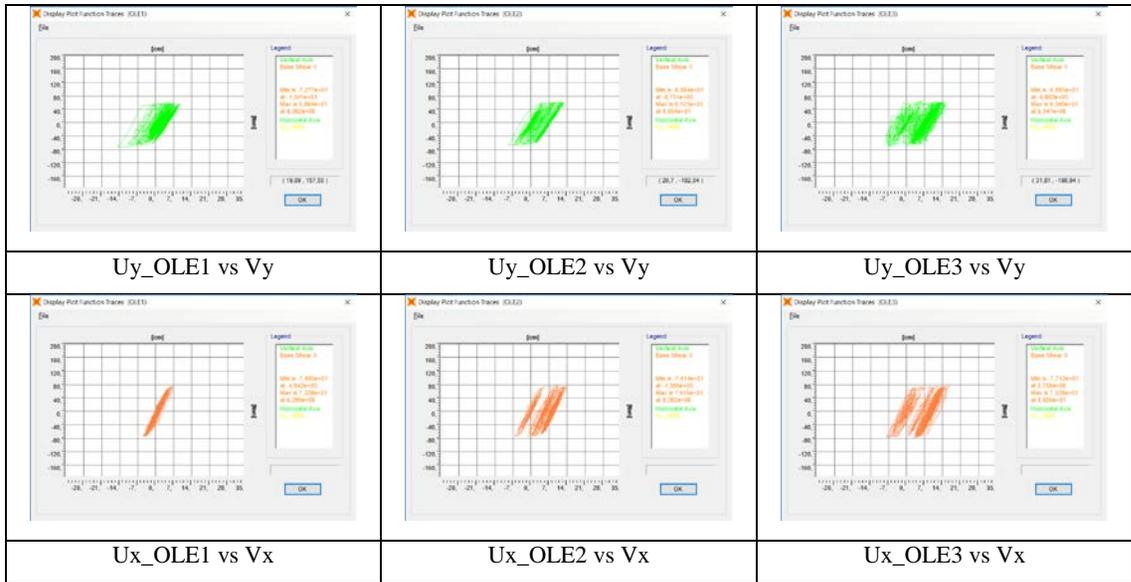
Los desplazamientos máximos son los siguientes:

N484	MCE1		MCE2		MCE3	
	cm	seg	cm	seg	cm	seg
Ux_max	-17,5	25,4	27,1	53,3	21,9	39,0
Uy_max	-32,8	25,1	21,9	37,3	23,3	38,1

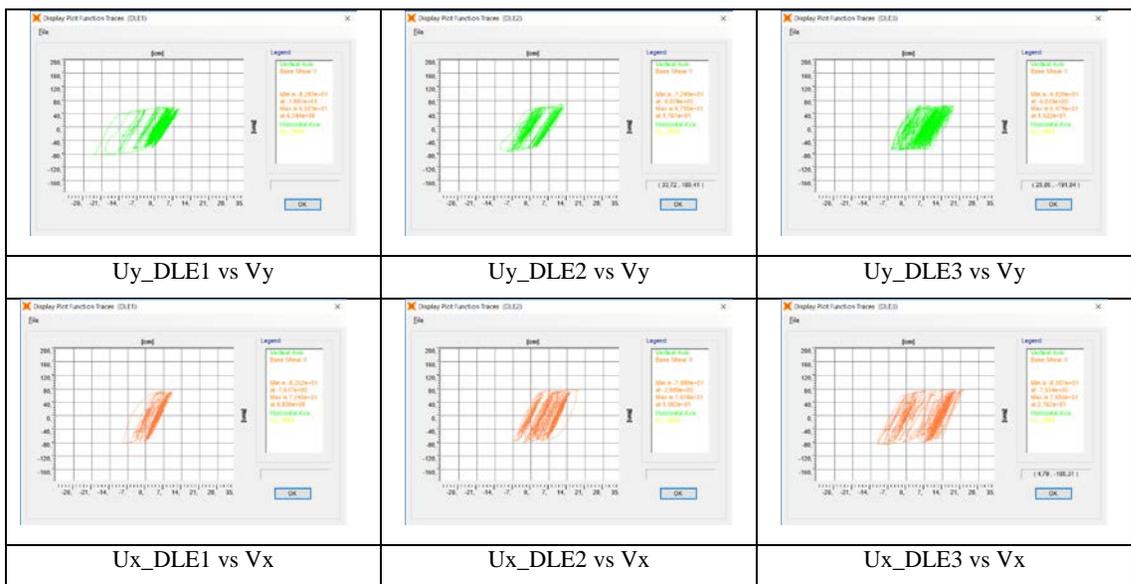
q) Corte Basal y Desplazamiento de Techo.

A continuación, se presentan los gráficos de los OLE, DLE y MCE, donde se identificarán los máximos del MCE.

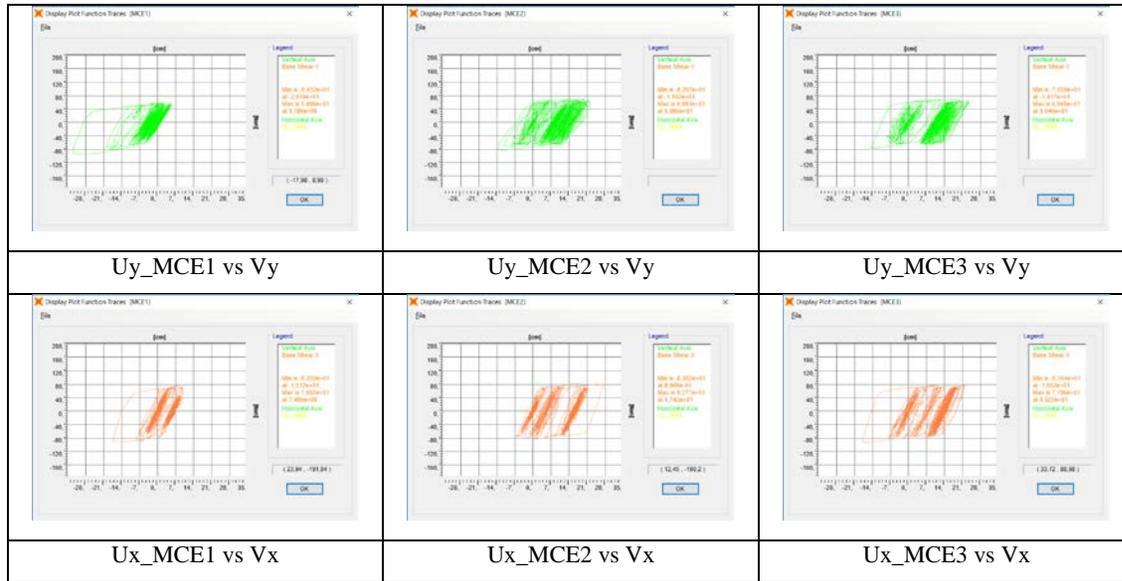
**Resultados OLE**



**Resultados DLE.**



## Resultados MCE.



N484	MCE1		MCE2		MCE3	
	ton	cm	ton	cm	ton	cm
Vx_max	90,5	15,1	83,0	0,88	91,6	16,52
Vy_max	94,3	29,1	82,1	11,6	76,6	14,1

## VIII CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

**Respecto a la demanda utilizada**, para el análisis no lineal se consideran registros compatibles con un suelo tipo II y zona sísmica 3. La norma, específicamente el punto 5.8.2 indica los siguientes requisitos para realizar un análisis tiempo historia con registros artificiales: “se debe usar al menos 3 registros reales, representativos de las zonas sismogénicas considerada, escalados de modo que el espectro resultante de combinar los espectros de cada registro, mediante la raíz cuadrada de los promedios cuadrados de los valores individuales escalados, no quede en ningún punto del rango de frecuencias de interés por debajo del espectro 5.8.1”. Por otro lado, el punto 5.8.2.2 menciona, “Alternativamente, se puede utilizar un registro sintético cuyo espectro arroje valores mayores que el definido en el punto 5.8.1 para todo el rango de frecuencias de interés. Además, se menciona que las duraciones de los registros deben ser igual o mayor a los 120 segundos”. De acuerdo a lo mencionado, no se entregan directrices específicas de cómo construir los registros artificiales, en este trabajo se consideran registros artificiales compatibles con NCh2745 bajo una condición de OLE, DLE y MCE, asociados a registros bajo condición de operación, condición de diseño y registro máximo creíble, que en términos prácticos considera un periodo de retorno medio de 57 años (OLE), 474 años (DLE) y 2.500 años (MCE). Los peaks de cada uno de los registros utilizados se presentan en la Tabla VIII.1.

*Tabla VIII.1: Peaks registros artificiales.*

<b>COMB</b>	<b>ax[g]</b>	<b>t [seg]</b>	<b>ay [g]</b>	<b>t [seg]</b>
DLE1	0,60	25,19	0,54	23,40
DLE2	0,55	45,58	0,49	46,18
DLE3	-0,64	32,64	-0,61	21,00
OLE1	0,44	25,82	-0,41	25,06
OLE2	0,42	49,68	0,34	46,18
OLE3	-0,50	32,65	-0,64	21,01
MCE1	0,77	25,19	0,69	24,89
MCE2	0,62	44,67	-0,63	20,73
MCE3	-0,68	29,81	-0,63	46,18

Tal como se observa en la Tabla VIII.1 los registros que presentan una mayor aceleración son los MCE, seguidos por los DLE y los OLE, por ende, a priori se espera un comportamiento más exigente para los registros MCE, lo que va en línea con los resultados obtenidos del comportamiento de las diagonales.

**Respecto al comportamiento**, en términos generales, en todos los casos de eventos sísmicos máximo probable obliga a las estructuras a incursionar en el rango inelástico, exigiendo a toda la resistencia lateral provista. Los elementos más solicitados son los que se encuentran sobre y bajo el nivel de mayor rigidez lateral donde se encuentra arriostrado en tres paños.

**Respecto a los desplazamientos e histéresis**, para el Caso 1 los registros OLE generan un desplazamiento de techo máximo de 8,61 cm a los 27,43 segundos en la dirección de “X”, lo que implica un giro de las columnas de 0,51%. Bajo la condición DLE el desplazamiento máximo se obtiene en la dirección de “Y” a los 23,57 segundos con un desplazamiento de techo de 14,02 cm, lo que equivale a un giro de columnas de 0,83%.

El comportamiento de las riostras para la sollicitación MCE, mantiene el patrón donde las diagonales más solicitadas son las L8 y L5. En cambio, en la otra dirección, las más solicitadas son L35 y L33. Para este último caso L35 presenta una fluencia en tracción considerable de al menos 3 cm. El desplazamiento máximo de techo para esta configuración es 18,8 cm, lo que representa un giro de columnas de 1,12%

*Tabla VIII.2: Resumen comportamiento Caso 1.*

<b>COMB</b>	<b>Elementos Mayor incursión no lineal</b>	<b>Desplazamiento Máximo</b>
OLE	L5 L8	Dir X / 8,61 cm / 27,43 seg
DLE	L8 L5 L35	Dir Y / 14,0 cm / 23,57 seg
MCE	L8 L5 L35 L37 L33	Dir X / 18,8 cm / 30,00 seg

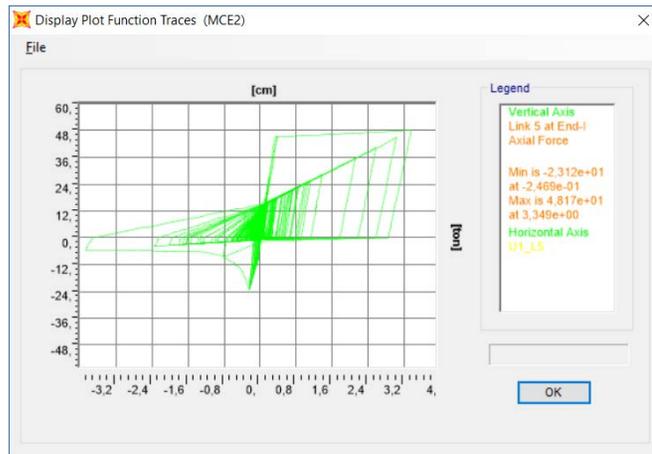


Figura VIII.1: Curva de Histéresis elemento L5 demanda MCE2.

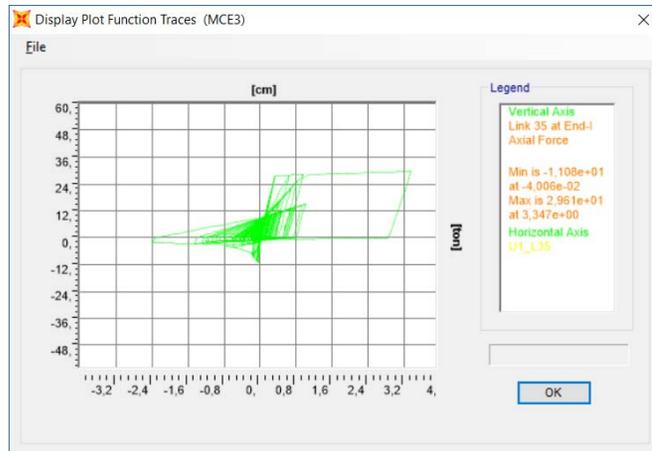


Figura VIII.2: Curva de Histéresis elemento L35 demanda MCE3.

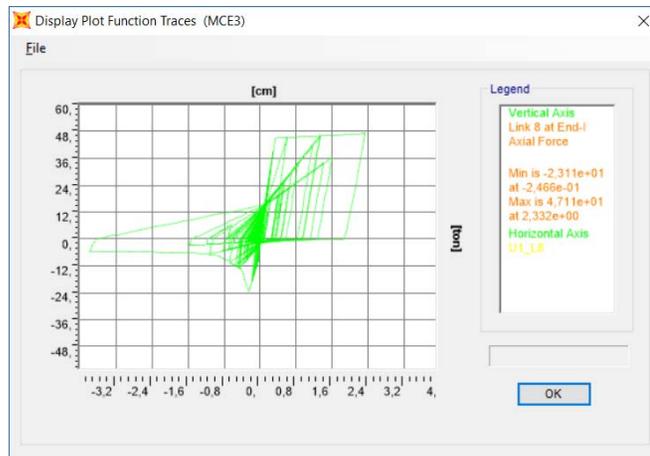


Figura VIII.3. Curva de Histéresis elemento L8 demanda MCE3.

Para el Caso 2 los registros OLE generan un desplazamiento de techo máximo de 8,2 cm a los 27,4 segundos en la dirección de “X”, lo que implica un giro de las columnas de 0,49%. Bajo la condición DLE el desplazamiento máximo se obtiene en la dirección de “Y” a los 23,6 segundos con un desplazamiento de techo de 14,3 cm, lo que equivale a un giro de columnas de 0,85%. El comportamiento de las riostras para la sollicitación MCE, mantiene el patrón donde las diagonales más solicitadas en la dirección de “X” son las L8 y L5. En cambio, en la otra dirección, las más solicitadas son L52 y L46. El desplazamiento máximo de techo para esta configuración es 18,5 cm, lo que representa un giro de columnas de 1,09%.

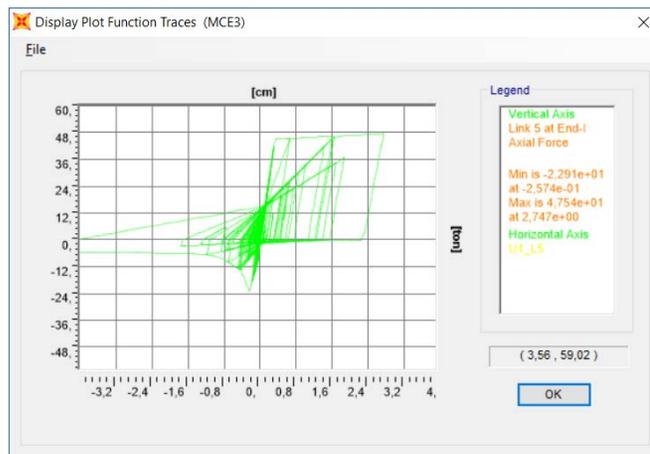


Figura VIII.4: Curva de Histéresis elemento L5 demanda MCE3.

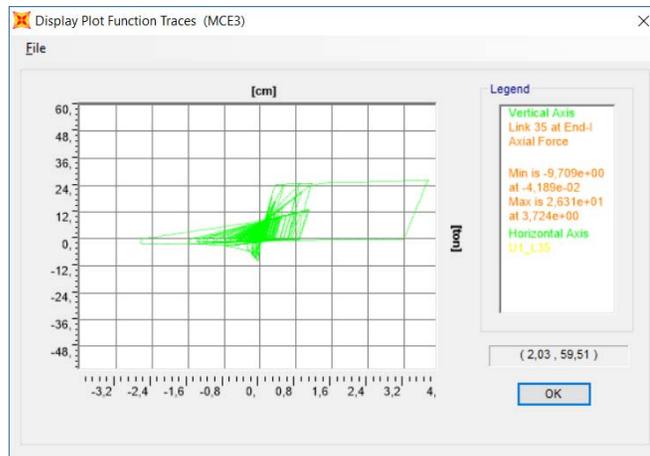


Figura VIII.5: Curva de Histéresis elemento L35 demanda MCE3.

Tabla VIII.3: Resumen comportamiento Caso 2.

COMB	Elementos Mayor incursión no lineal	Desplazamiento Máximo
OLE	L5 L8	Dir X / 8,2 cm / 27,4 seg
DLE	L8 L5 L35	Dir Y / 14,3 cm / 23,6 seg
MCE	L8 L5 L35 L37 L33 L40 L95	Dir Y / 18,5 cm / 30,0 seg

Para el Caso 3 los registros OLE generan un desplazamiento de techo máximo de 16,5 cm a los 39,4 segundos en la dirección de “X”, lo que implica un giro de las columnas de 0,98%. Bajo la condición DLE el desplazamiento máximo se obtiene en la dirección de “Y” a los 23,7 segundos con un desplazamiento de techo de 23,5 cm, lo que equivale a un giro de columnas de 1,4%. El comportamiento de las riostras para la solicitud MCE, mantiene el patrón donde las diagonales más solicitadas son las L2, L1, L3, L6 y L5. En cambio, en la otra dirección, las más solicitadas son L39, L38, L37, L36 y L35. Para este último caso L35 presenta una fluencia en tracción considerable de al menos 4 cm. El desplazamiento máximo de techo para esta configuración es 32,8 cm, lo que representa un giro de columnas de 1,95%. En la Tabla VIII.4 se presentan los resultados de desplazamiento y comportamiento en tracción y compresión de los elementos.

Tabla VIII.4: Resumen comportamiento Caso 3.

COMB	Elementos Fluencia Compresión	Desplazamiento Máximo
OLE	L2 L1 L3 L6 L5 L39 L38 L37 L36 L35	Dir X / 16,5 cm / 39,4 seg
DLE	L2 L1 L3 L6 L5 L40 L39 L38 L37 L36 L35	Dir Y / 23,5 cm / 23,7 seg
MCE	L2 L1 L3 L7 L8 L6 L5 L40 L39 L38 L37 L36 L35	Dir Y / 32,8 cm / 25,1 seg

Si bien se presentan deformaciones importantes ninguna de las diagonales presenta una deformación que indique las sean cortadas considerando que su deformación de ruptura para el ASTM A36 es cerca al 20%, pero la deformación remanente que presentarán las dejará muy dañadas, que obligará a cambiarlas.

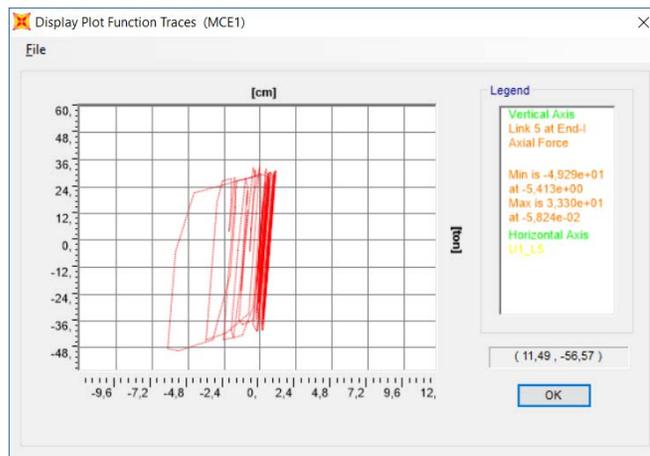


Figura VIII.6: Curva de Histéresis BRB elemento L5 demanda MCE1.

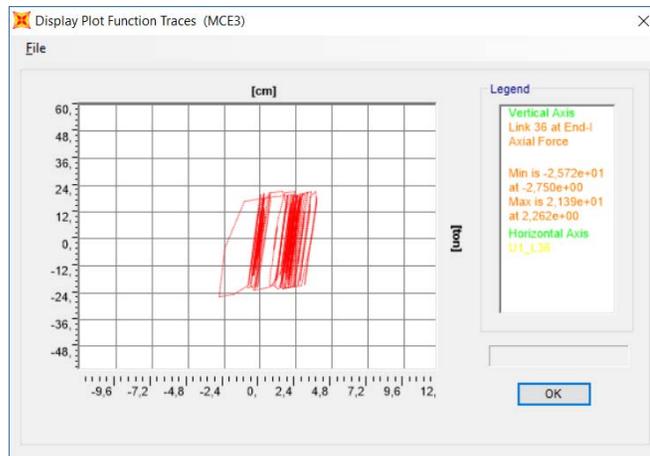


Figura VIII.7: Curva de Histéresis BRB elemento L36 demanda MCE3.

Los resultados obtenidos con las BRB justifican el diseño por capacidad de la columna, dado que las BRB fluyeron en gran parte de los casos analizados. Si bien las BRB soportan un mayor ciclaje que las riostras convencionales, y qué además, cuenta con un mejor comportamiento a compresión, su resultado no fue favorable en términos de desplazamiento.

En general en los diseños chilenos, no es común ver fluir las riostras verticales en tracción, esto valida la necesidad de diseñar las conexiones por capacidad.

Respecto al desplazamiento techo y el corte basal, tal como se observa en la Tabla VIII.5 el Caso 1 presenta un mayor corte basal y un menor desplazamiento dado que es un sistema más rígido y menos dúctil, mientras que el anteproyecto de la norma o más bien Caso 2, presenta una leve variación de corte basal. En cambio, el Caso 3 o con dispositivos de BRB, el corte se ve reducido en cerca del 50% respecto del Caso 1, pero el desplazamiento aumenta casi al doble, lo que puede ser complejo para instalaciones industriales donde los equipos requieren de poco desplazamiento lateral para operar en condiciones normales.

Tabla VIII.5: Corte Basal y desplazamiento de techo.

CASO	N484	MCE1		MCE2		MCE3	
		ton	cm	ton	cm	ton	cm
CASO 1	Vx_max	192	-12,38	-176	-10,61	214	14,38
	Vy_max	-125	-10,43	-118	-7,45	-127	-9,16
CASO 2	Vx_max	-187	-13,3	-166	-10,93	204	14,82
	Vy_max	127	59,1	-119	-7,45	-127	-9,11
CASO 3	Vx_max	90,5	15,1	83	0,88	91,6	16,52
	Vy_max	94,3	29,1	82,1	11,6	76,59	14,1

**Respecto a la estructuración**, en las instalaciones industriales es normal ver irregularidad de rigideces en altura, principalmente porque se requiere generar los espacios para las interconexiones de los equipos, cañerías, canalizaciones eléctricas, accesos, ventilación, entre otras causas, que obligan al diseñador a no realizar una estructuración regular en altura. En casos ideales, lo recomendable es estructurar disminuyendo la rigidez en altura, y no es tan recomendable concentrar la rigidez en un piso intermedio para luego disminuir rigidez en los pisos anteriores y posteriores. En el caso de la estructura en estudio, si bien la estructura es regular en planta, en elevación las rigideces no lo son, dado que en el primer nivel existe la restricción que dos vanos no deben contar con diagonales para los accesos de camiones, lo que obliga a hacer una transición de un nivel de tres vanos diagonalizados a solo uno en el nivel inferior y superior. Lo anteriormente mencionado concentra las tensiones en el piso inferior, convirtiéndolo en un lugar potencial de falla o daño.

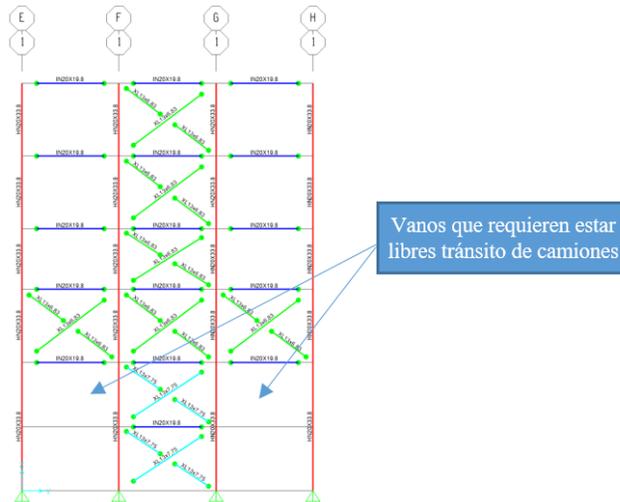


Figura VIII.8: Estructuración

Dado que la estructuración de las columnas es regular y simétrica, además de la distribución de los elementos, y junto con que la demanda aplicada es ortogonal, el comportamiento de la estructura es el esperado, desde el punto de vista que los arriostramientos verticales trabajan en el mismo sentido de la sollicitación, y no en una combinación de ellas.

**Respecto a los diseños**, para este estudio donde el corte mínimo controla la estructura, el anteproyecto de norma (Caso 2) no genera un impacto importante en el diseño de la norma vigente (Caso 1), lo que implicaría que no se requeriría de una reparación en caso que se revise con el anteproyecto.

**Respecto a la estructura diseñada con BRB**, el requerimiento de verificación por capacidad de las columnas obligó a aumentar el tamaño de esta. El criterio empleado fue mantener la altura de perfil HN20, aumentando los espesores de alma y ala. En base a ese criterio, el peso de la columna aumentó 3 veces, pasando de una columna central HN20x33,8 a una de HN20x90,3, y en las columnas exteriores de HN20x33,8 a HN20x54,8. Para reducir este efecto se podría haber considerado aumentar la columna a un HN25 dado que tiene un radio de giro mayor lo que implicaría que se requiera una columna de un menor peso por metro lineal para satisfacer los requerimientos de demanda

de las BRB en fluencia. Finalmente, la estructura diseñada con BRB resultó ser un 15% más pesada que la estructura sin BRB, lo cual no concuerda con lo mencionado en el estudio de S. WIJANO [20] que indica que los diseños con BRB requieren de menos acero en comparación con los sistemas arriostrados convencionales. Es probable que los requerimientos de corte mínimo de la práctica chilena afecten que en este estudio no sea así, al aumentar la demanda.

Considerando que gran parte de las BRB fluyeron y que probablemente requerirán de un cambio, una desventaja de este sistema es que la fabricación no se puede ser realizada por una maestranza cualquiera, se debe recurrir a los proveedores tecnológicos de estos dispositivos, lo que puede generar un atraso mayor a lo requerido para reemplazar una riostra convencional en una maestranza.

En términos de este estudio, el anteproyecto de norma de la NCh2369 y la NCh2369:2003 no generan resultados distintos respecto al diseño, lo cual es favorable dado que la estructura no requiere de reparaciones para que cumpla con el anteproyecto.

De acuerdo a los resultados obtenidos se considera como una buena práctica el verificar la estructura a distintos niveles de demanda, dado que se puede analizar el comportamiento de la estructura frente a una solicitud de condición operacional, sismo de diseño y máximo creíble, junto con análisis intermedios.

Respecto a la verificación de la columna se considera que se requiere de una verificación más sofisticada, incorporando elementos “hinge” dentro del modelo para ver su comportamiento no lineal sobre la estructura.

### **Recomendaciones de estudio o temas pendientes para un futuro estudio.**

Se considera relevante definir un criterio para la generación de los registros artificiales, dado la normativa actual entrega lineamientos muy generales al respecto. Además, se

considera relevante el generar registros para distintos niveles de demanda y analizar el comportamiento de la estructura frente a ellos.

En este caso particular el uso de las BRB no fue favorable, lo que indica que se debe profundizar en los estudios para implementarlos en Chile, dado que siguiendo las recomendaciones de la AISC, junto con los requerimientos de la NCh2369 no presenta un desempeño favorable para las instalaciones industriales, considerando que la estructura queda con una deformación remanente, lo cual, puede ser bien visto en edificios habitacionales frente a un registro MCE, pero el contar con deformación remanente en un OLE en instalaciones industriales, no lo es, dado que las deformaciones afectan de manera importante en las conexiones de los servicios y operación de los equipos. En este caso particular una deformación remanente de 10 centímetros generaría serios problemas en el funcionamiento de la correa transportadora que descarga sobre un alimentador, que descarga en la parte superior de las tolvas, que requiere de mucha precisión.

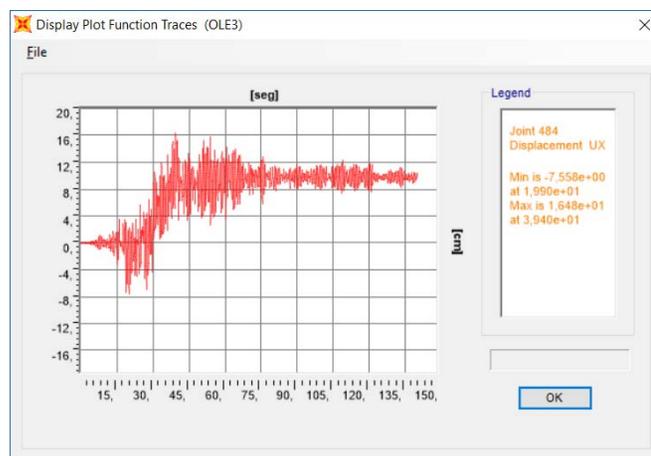


Figura VIII.9: Tiempo Historia desplazamiento de techo en dir. X demanda OLE3.

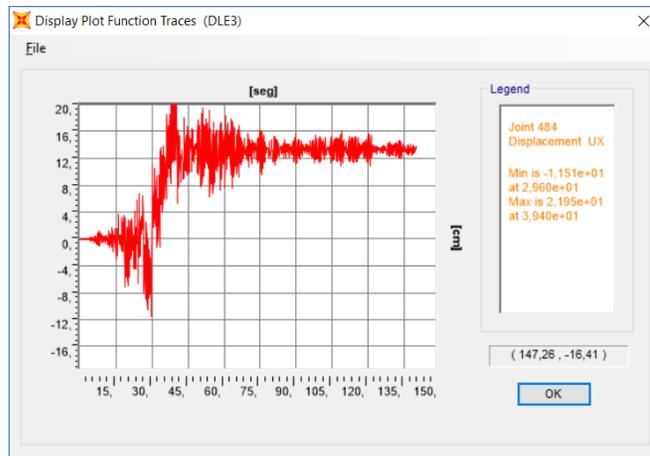


Figura VIII.10: Tiempo Historia desplazamiento de techo en dir. X demanda DLE3.

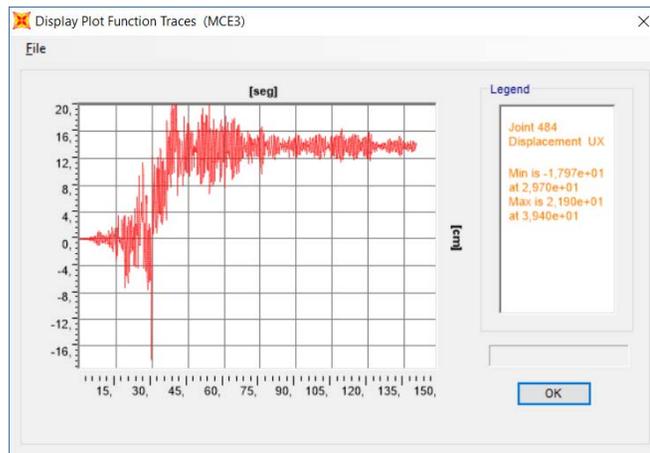


Figura VIII.11: Tiempo Historia desplazamiento de techo en dir. X demanda MCE3.

Dado que el diseño de los BRB no puede ser realizado en base a la normativa actual, se propone que se definan los parámetros que permitan calibrar el diseño de los BRB a la realidad nacional, dado que no es posible implementar los parámetros establecidos en las normas AISC directamente. Arbitrariamente se adoptó en este estudio los valores de  $R=5$  y amortiguamiento crítico del 5%, pero en la normativa nacional no existe una directriz de los parámetros que deben ser utilizados al incluir este tipo de dispositivos. Esto cobra aún más sentido considerando que la normativa ASCE7/AISC341 tiene una filosofía de diseño distinta a la norma NCh2369, dado que la norma AISC busca hacer uso de la ductilidad provista considerando moderados niveles de resistencia sísmica. En cambio, la norma nacional prefiere disponer de una mayor sobrerresistencia entregando un nivel de

ductilidad acorde a la sobrerresistencia, con un bajo comportamiento inelástico. Otro aspecto importante es que las instalaciones industriales cuentan con equipos que en algunas oportunidades son sensibles a los desplazamientos o aceleraciones, por ello que el diseño debe estar condicionado a los requerimientos de cada instalación en específico.

Se considera relevante incorporar a la norma requisitos de estructuración, en específico, a las irregularidades tanto en vertical como en horizontal. Por ejemplo, es buena práctica en Chile ir aumentando en rigidez desde los pisos superiores a los inferiores gradualmente, pero no se considera una buena práctica realizar transiciones de menor rigidez a mayor y luego a una menor rigidez, dado que esta discontinuidad genera un punto débil dentro de la estructura. Este aspecto no siempre es posible de cumplir en las instalaciones industriales, considerando los requisitos de las disciplinas mecánica, piping, electricidad, instrumentaciones y de operaciones, que a veces obligan a no estructurar de la mejor forma. En base a lo anterior, se recomienda incorporar parámetros que incorporen estos temas de irregularidades en la estructuración, tal como lo incorpora la normativa ASCE 7-16 con los requisitos presentes en la Tabla 12.3-2 “Vertical Structural Irregularities”, ver Tabla VIII.6.

Tabla VIII.6: Consideraciones para las irregularidades en vertical. Fuente ASCE 7-16.

Type	Description	Reference Section	Seismic Design Category Application
1a.	<b>Stiffness–Soft Story Irregularity:</b> Stiffness–soft story irregularity is defined to exist where there is a story in which the lateral stiffness is less than 70% of that in the story above or less than 80% of the average stiffness of the three stories above.	Table 12.6-1	D, E, and F
1b.	<b>Stiffness–Extreme Soft Story Irregularity:</b> Stiffness–extreme soft story irregularity is defined to exist where there is a story in which the lateral stiffness is less than 60% of that in the story above or less than 70% of the average stiffness of the three stories above.	12.3.3.1 Table 12.6-1	E and F D, E, and F
2.	<b>Weight (Mass) Irregularity:</b> Weight (mass) irregularity is defined to exist where the effective mass of any story is more than 150% of the effective mass of an adjacent story. A roof that is lighter than the floor below need not be considered.	Table 12.6-1	D, E, and F
3.	<b>Vertical Geometric Irregularity:</b> Vertical geometric irregularity is defined to exist where the horizontal dimension of the seismic force-resisting system in any story is more than 130% of that in an adjacent story.	Table 12.6-1	D, E, and F
4.	<b>In-Plane Discontinuity in Vertical Lateral Force-Resisting Element Irregularity:</b> In-plane discontinuity in vertical lateral force-resisting element irregularity is defined to exist where there is an in-plane offset of a vertical seismic force-resisting element resulting in overturning demands on supporting structural elements.	12.3.3.3 12.3.3.4 Table 12.6-1	B, C, D, E, and F D, E, and F D, E, and F
5a.	<b>Discontinuity in Lateral Strength–Weak Story Irregularity:</b> Discontinuity in lateral strength–weak story irregularity is defined to exist where the story lateral strength is less than 80% of that in the story above. The story lateral strength is the total lateral strength of all seismic-resisting elements sharing the story shear for the direction under consideration.	12.3.3.1 Table 12.6-1	E and F D, E, and F
5b.	<b>Discontinuity in Lateral Strength–Extreme Weak Story Irregularity:</b> Discontinuity in lateral strength–extreme weak story irregularity is defined to exist where the story lateral strength is less than 65% of that in the story above. The story strength is the total strength of all seismic-resisting elements sharing the story shear for the direction under consideration.	12.3.3.1 12.3.3.2 Table 12.6-1	D, E, and F B and C D, E, and F

Para finalizar este estudio, se destaca lo importante que es analizar la aplicabilidad de los criterios de diseño de una norma a otra, dado que muchas veces la normativa sismorresistente varía dependiendo del país, es por ello, que cobra vital importancia realizar calibraciones de los parámetros de diseño para hacer la equivalencia de una norma a otra frente a los nuevos dispositivos sismorresistentes, como en este caso fue el BRB.

## **IX ANEXOS.**

Anexo 1: Diseño Columnas.

Anexo 2: Perfiles Plegados L.

Anexo 3: Link Riostras No Lineal Caso 1.

Anexo 4: Link Riostras No Lineal Caso 2.

## **X BIBLIOGRAFÍA.**

1. ASTROZA E, R. R. 2007. Estudio de la respuesta sísmica de edificios mediante la dinámica de propagación de ondas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.
2. BENITO B. y CABAÑAS L. 1999. Caracterización del Movimiento del Suelo en Ingeniería Sísmica. Revista Físicas de la Tierra, Astronomía y Astrofísica Universidad Complutense Madrid.
3. BLACK C., MAKRIS N. & AIKEN I. 2002. Component testing, stability analysis and characterization of buckling-restrained unbounded braced. Tokyo, Pacific Earthquake engineering research center. Final report to Nippon steel corporation, Tokyo, Japan.
4. BRADLEY, C. Buckling-Restrained Braced Frame Connection Design and Testing. Brigham Young University, 2007.
5. BRUNEAU M., UANG C. & SABELLI R. 2011. Ductile design of steel structures. McGraw-Hill Educations, 2 edition.
6. BUSTO V., A.I. 2003. Análisis comparativo de la respuesta sísmica entre edificios en altura de acero en base a marcos de momento y marcos arriostrados en el núcleo y en base a marcos de momento y núcleo. Valdivia, Universidad Austral, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles.
7. CHRISTOPULOS A.S. 2005. Improved Seismic Performance of Buckling Restrained Braced Frames. Washington, University of Washington, Department of Civil and Environmental Engineering.
8. CLOUGH R. & PENZIEN J. 1995. Dynamics of structures. McGraw-Hill. 3era edition.
9. CRISAFULLI, F.J. 2014. Diseño sismorresistente de construcciones de acero. Mendoza, Argentina, Asociación Latinoamericana del Acero – ALACERO.

10. CRUZ S., F. 2014. Análisis sísmico de estructuras secundarias apoyadas en dos o más niveles de la estructura principal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.
11. DEULKAR W., MODHERA C. & PATIL H. 2010. Buckling restrained braces for vibration control of building structure. International Journal of Recent Research and Applied Studies (IJRRAS), September 2010.
12. EL-TAYEM, A. y GOEL S.C. 1986. Effective Length Factor for the Design of X-Bracing System. AISC Engineering Journal (1<sup>st</sup> Quarter 1986) pp. 41-45.
13. FAHNESTOCK L., SAUSE R., RICLES J. & LU L. 2003. Ductility demands on buckling-restrained braced frames under earthquake loading. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol 2, N°2, December 2003.
14. FLORES, R. 1993. Ingeniería Sísmica – El caso del sismo del 3 de marzo de 1985. Instituto de Ingenieros de Chile. Ediciones Pedagógicas Chilenas S.A.
15. FUQUA, B.W. 2009. Buckling restrained braced frames as a seismic force resisting system. Kansas, Kansas State University, Department of Architectural Engineering, College of Engineering.
16. ILLANES S., R.A. 2015. Análisis inelástico de estructuras industriales arriostradas. Santiago, Universidad Andrés Bello, Facultad de Obras Civiles.
17. LEAL V., O. 2015. Diseño y comparación y desempeño de marcos arriostrados con y sin restricción al pandeo. Valparaíso, Universidad de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil.
18. KERSTING R., FAHNESTOCK L. & LOPEZ W. 2015. Seismic design of steel buckling-restrained braced frames. National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce. NEHRP Seismic design technical brief No. 11.
19. SABELLI R., ROEDER C. & HAJJAR J. 2013. Seismic design of steel special concentrically braced frame systems. National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce. NEHRP Seismic design technical brief No. 8.
20. SABELLI R., DEAN B. 2009. Structural steel design. 2009 NEHRP Recommended Seismic Provisions.

21. WIJANTO, S. 2012. Behaviour and design of generic buckling restrained brace systems. Auckland, The University of Auckland, Department of Civil and Environmental Engineering.
22. ZSARNÓCSAY, Á., VIGH L. 2012. Capacity design procedure evaluation for buckling restrained braced frames with incremental dynamic analysis. Budapest, University of Technology and Economics, Hungary. 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa 2012.
23. HIDALGO, P. 2012. Presentación MOP. Diseño sísmico de obras portuarias.

## ANEXO 1: DISEÑO DE COLUMNAS.

E	2.100.000	kg/cm <sup>2</sup>
Fy	2530	kg/cm <sup>2</sup>
G	786.952	kg/cm <sup>2</sup>

FRAME PERFIL	Tipo 1 HN20x90,3	Tipo 2 HN20x54,8	Tipo 3 HN20X39,9	Tipo 4 HN20X33,8
<b>GEOMETRIA</b>				
<b>PROPIEDADES PERFIL</b>				
H (mm)	200	200	200	200
B (mm)	200	200	200	200
e (mm)	25	14	10	8
t (mm)	10	8	6	6
A (cm <sup>2</sup> )	115	69,8	50,8	43
Ixx (cm <sup>4</sup> )	7.990	5.190	3.900	3.260
Wxx (cm <sup>3</sup> ) o Sx	799	519	390	326
ix (cm)	8,34	8,63	8,77	8,71
Iyy (cm <sup>4</sup> )	3.330	1.870	1.330	1.070
Wyy (cm <sup>3</sup> ) o Sy	333	187	133	107
iy (cm)	5,38	5,17	5,12	4,98
ia (cm)	6,46	6	5,84	5,72
it (cm)	2,5	1,4	1	0,8
J (cm <sup>4</sup> )	214	39,8	14,7	8,21
Ca (cm <sup>6</sup> )	255.000	161.000	120.000	98.300
Zxx (cm <sup>3</sup> )	-	-	429	358
Zyy (cm <sup>3</sup> )	-	-	201	161
<b>ESBELTEZ GLOBAL</b>				
Lx [m]	2,65	5,3	5,3	3
kx	1	1	1	1
λxx	31,8	61,4	60,4	34,4
Ly [m]	2,65	2,65	2,65	3
ky	1	1	1	1
λyy	49,3	51,3	51,8	60,2
λmax (λxx,λyy)	49,3	61,4	60,4	60,2
λadm_nch2369	135,8	135,8	135,8	135,8
Estatus	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>

## DISEÑO A COMPRESIÓN AISC360-10 Y NCH2369:2003

### ESBELTEZ LOCAL

$\lambda_{alas}$	4,00	7,14	10,00	12,50
kc	0,76	0,76	0,76	0,76
$\lambda_{r\_ala}$	16,07	16,07	16,07	16,07
Estatus Ala	<b>No Esbelto</b>	<b>No Esbelto</b>	<b>No Esbelto</b>	<b>No Esbelto</b>

$\lambda_{alma}$	15,00	21,50	30,00	30,67
$\lambda_{r\_alma}$	42,93	42,93	42,93	42,93
Estatus Alma	<b>No Esbelto</b>	<b>No Esbelto</b>	<b>No Esbelto</b>	<b>No Esbelto</b>

Verificación AISC360	<b>E3 y E4</b>	<b>E3 y E4</b>	<b>E3 y E4</b>	<b>E3 y E4</b>
----------------------	----------------	----------------	----------------	----------------

### E3. Pandeo Flexural de miembros no esbeltos.

F <sub>exx</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	20.529	5.495	5.675	17.471
F <sub>cr1_xx</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	2.403	2.087	2.099	2.381
F <sub>cr2_xx</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	18.004	4.819	4.977	15.322
<b>F<sub>cr_xx</sub> [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>2.403</b>	<b>2.087</b>	<b>2.099</b>	<b>2.381</b>

F <sub>eyy</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	8.543	7.889	7.737	5.711
F <sub>cr1_yy</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	2.235	2.212	2.206	2.102
F <sub>cr2_yy</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	7.492	6.918	6.785	5.009
<b>F<sub>cr_yy</sub> [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>2.235</b>	<b>2.212</b>	<b>2.206</b>	<b>2.102</b>

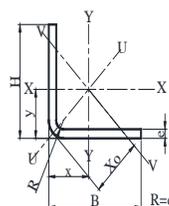
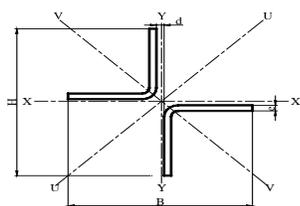
### E4. Pandeo Torsional y Flexo-Torsional de miembros no esbeltos

h <sub>o</sub> (mm)	175	186	190	192
C <sub>w</sub> (cm <sup>6</sup> )	254.953	161.736	120.033	98.611
L <sub>z</sub> (m)	2,65	2,65	2,65	3
k <sub>z</sub>	1	2	3	4
F <sub>e</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	21.524	6.127	2.965	1.820
F <sub>cr1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	2.409	2.128	1.770	1.414
F <sub>cr2</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	18.877	5.373	2.600	1.596
<b>F<sub>cr</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>2.409</b>	<b>2.128</b>	<b>1.770</b>	<b>1.414</b>

### Tensión Admisible Compresión

P <sub>n_E3</sub> (ton)	257	146	107	90
P <sub>n_E4</sub> (ton)	277	149	90	61
P <sub>n</sub> (ton)	257	146	90	61
<b>P<sub>n</sub>/Ω</b>	<b>154</b>	<b>87</b>	<b>54</b>	<b>36</b>

## ANEXO 2: PERFILES PLEGADOS L.



Designación		Dimensiones		XL							VERIFICACIÓN NCH2369		
TL H* peso		B	e	Área	Eje V - V	Eje U - U					8.3.3	PERFIL	CHEQUEO
cm*	kgf/m	mm	mm	A	i	d=0	d=4	d=6	d=8	d=10	$\lambda_r$	$\lambda$	STATUS
XL 40*	93,90	400	16	120,0	7,94	8,96	9,22	9,35	9,47	9,60	12,78	10,50	CUMPLE
XL 40*	82,90	400	14	106,0	7,97	8,86	9,11	9,24	9,37	9,50	12,78	12,29	CUMPLE
XL 40*	71,60	400	12	91,3	8,00	8,75	9,01	9,14	9,26	9,39	12,78	14,67	NO CUMPLE
XL 40*	60,20	400	10	76,7	8,03	8,65	89,10	9,03	9,16	9,29	12,78	18,00	NO CUMPLE
XL 35*	71,90	350	14	91,6	6,95	7,84	8,10	8,23	8,36	4,49	12,78	10,50	CUMPLE
XL 35*	62,20	350	12	79,3	6,98	7,74	7,99	8,12	8,25	8,38	12,78	12,58	CUMPLE
XL 35*	52,40	350	10	66,7	7,01	7,63	7,89	8,02	8,14	8,27	12,78	15,50	NO CUMPLE
XL 35*	42,30	350	8	53,9	7,03	7,53	7,79	7,91	8,04	8,17	12,78	19,88	NO CUMPLE
XL 30*	52,80	300	12	67,3	5,96	6,72	6,98	7,11	7,24	7,37	12,78	10,50	CUMPLE
XL 30*	44,50	300	10	56,7	5,99	6,62	6,87	7,00	7,13	7,26	12,78	13,00	NO CUMPLE
XL 30*	36,00	300	8	45,9	6,01	6,51	6,77	6,90	7,02	7,15	12,78	16,75	NO CUMPLE
XL 30*	27,30	300	6	34,8	6,04	6,41	6,67	7,79	6,92	7,05	12,78	23,00	NO CUMPLE
XL 25*	36,70	250	10	46,7	4,97	5,60	5,86	5,99	6,12	6,25	12,78	10,50	CUMPLE
XL 25*	29,70	250	8	37,9	4,99	5,50	5,75	5,88	6,01	6,14	12,78	13,63	NO CUMPLE
XL 25*	22,60	250	6	28,8	5,02	5,40	5,65	5,78	5,91	6,03	12,78	18,83	NO CUMPLE
XL 25*	19,00	250	5	24,2	5,03	5,35	5,60	5,73	5,85	5,98	12,78	23,00	NO CUMPLE
XL 20*	23,50	200	8	29,9	3,97	4,48	4,74	4,87	5,00	5,13	12,78	10,50	CUMPLE
XL 20*	17,90	200	6	22,8	4,00	4,38	4,63	4,76	4,89	5,02	12,78	14,67	NO CUMPLE
XL 20*	15,10	200	5	19,2	4,01	4,33	4,58	4,71	4,84	4,97	12,78	18,00	NO CUMPLE
XL 20*	12,10	200	4	15,5	4,03	4,28	4,53	4,66	4,79	4,91	12,78	23,00	NO CUMPLE
XL 16*	14,10	160	6	18,0	3,18	3,56	3,82	3,95	4,08	4,21	12,78	11,33	CUMPLE
XL 16*	11,90	160	5	15,20	3,20	3,51	3,77	3,90	4,03	4,16	12,78	14,00	NO CUMPLE
XL 16*	9,63	160	4,0	12,30	3,21	3,46	3,72	3,84	3,97	4,10	12,78	18,00	NO CUMPLE
XL 16*	8,48	160	3,5	10,80	3,22	3,44	3,69	3,82	3,95	4,08	12,78	20,86	NO CUMPLE
XL 13*	9,56	130	5	12,20	2,58	2,90	3,16	3,29	3,42	3,55	12,78	11,00	CUMPLE
XL 13*	7,75	130	4	9,87	2,60	2,85	3,11	3,24	3,37	3,50	12,78	14,25	NO CUMPLE
XL 13*	6,83	130	3,5	8,70	2,61	2,82	3,08	3,21	3,34	3,47	12,78	16,57	NO CUMPLE
XL 13*	5,89	130	3,0	7,50	2,61	2,80	3,05	3,18	3,31	3,44	12,78	19,67	NO CUMPLE
XL 10*	5,87	100	4	7,47	1,99	2,24	2,50	2,63	2,76	2,90	12,78	10,50	CUMPLE

Designación		Dimensiones		XL							VERIFICACIÓN NCH2369		
TL H* peso		B	e	Área	Eje V - V	Eje U - U					8.3.3	PERFIL	CHEQUEO
cm*	kgf/m	mm	mm	A	i	d=0	d=4	d=6	d=8	d=10	$\lambda_r$	$\lambda$	STATUS
XL 10*	5,18	100	3,5	6,60	1,99	2,21	2,47	2,60	2,74	2,87			
XL 10*	4,48	100	3	5,70	2,00	2,19	2,45	2,58	2,71	2,84	12,78	14,67	NO CUMPLE
XL 10*	3,76	100	2,5	4,79	2,01	2,16	2,42	2,55	2,68	2,81	12,78	18,00	NO CUMPLE
XL 8*	4,08	80	3,5	5,20	1,58	1,81	2,07	2,20	2,33	2,47	12,78	9,43	CUMPLE
XL 8*	3,54	80	3	4,50	1,59	1,78	2,04	2,17	2,31	2,44	12,78	11,33	CUMPLE
XL 8*	2,98	80	2,5	3,79	1,60	1,76	2,01	2,15	2,28	2,41	12,78	14,00	NO CUMPLE
XL 8*	2,41	80	2	3,07	1,61	1,73	1,99	2,12	2,25	2,38	12,78	18,00	NO CUMPLE
XL 6*	2,59	60	3	3,30	1,18	1,38	1,64	1,77	1,91	2,04	12,78	8,00	CUMPLE
XL 6*	2,19	60	2,5	2,79	1,19	1,35	1,61	1,74	1,88	2,01	12,78	10,00	CUMPLE
XL 6*	1,78	60	2	2,27	1,20	1,32	1,58	1,72	1,85	1,98	12,78	13,00	NO CUMPLE
XL 5*	1,80	50	2,5	2,29	0,986	1,15	1,41	1,54	1,68	1,82	12,78	8,00	CUMPLE
XL 5*	1,47	50	2	1,87	0,993	1,12	1,38	1,52	1,65	1,79	12,78	10,50	CUMPLE
XL 4*	1,15	40	2	1,47	0,789	0,917	1,18	1,32	1,45	1,59	12,78	8,00	CUMPLE

### ANEXO 3: ELEMENTOS LINK RIOSTRAS CASO 1.

Perfil	XL10x5,87	Perfil	XL10x5,87	Perfil	XL13x9,56	Perfil	XL13x9,56	Perfil	XL13x9,56	Perfil	XL16x14,7
Área [cm2]	7,5	Área	7,5	Área	12,20	Área	12,20	Área	12,20	Área	18,00
λ	118,5	λ	125,6	λ	91,4	λ	93,0	λ	96,9	λ	104,4
Ty [ton]	28,46	Ty	28,46	Ty	46,30	Ty	46,30	Ty	46,30	Ty	68,31
dy [cm]	0,44	dy	0,47	dy	0,44	dy	0,45	dy	0,47	dy	0,62
ky [ton/cm]	64,87	ky	61,20	ky	105,52	ky	103,74	ky	99,55	ky	110,60
L [cm]	235,85	L	250	L	235,85	L	239,91	L	250	L	332,0
W[N]	2,82	W	2,99	W	4,60	W	4,68	W	4,87	W	9,95
M[kg]	27,69	M	29,35	M	45,09	M	45,87	M	47,80	M	97,61

d [cm]	T [ton]										
-1,76	-2,49	-1,86	-2,16	-1,76	-6,09	-1,79	-5,97	-1,86	-5,67	-2,47	-7,54
-1,32	-2,62	-1,40	-2,32	-1,32	-6,15	-1,34	-6,04	-1,40	-5,77	-1,85	-7,75
-0,88	-2,95	-0,93	-2,45	-0,88	-7,94	-0,89	-7,76	-0,93	-7,30	-1,24	-9,49
-0,42	-5,09	-0,44	-4,19	-0,42	-13,86	-0,42	-13,53	-0,44	-12,73	-0,59	-16,51
-0,24	-6,17	-0,26	-3,89	-0,24	-24,15	-0,25	-23,33	-0,26	-21,29	-0,34	-25,65
-0,04	-11,08	-0,04	-12,56	-0,04	-8,80	-0,04	-9,34	-0,04	-10,67	-0,06	-19,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,33	27,75	0,35	27,75	0,33	45,14	0,33	45,14	0,35	45,14	0,46	66,60
0,48	27,75	0,51	27,75	0,48	45,14	0,49	45,14	0,51	45,14	0,68	66,60
0,61	27,89	0,65	27,89	0,61	45,37	0,62	45,37	0,65	45,37	0,86	66,94
0,88	28,04	0,93	28,04	0,88	45,60	0,89	45,60	0,93	45,60	1,24	67,29
1,54	28,46	1,63	28,46	1,54	46,30	1,56	46,30	1,63	46,30	2,16	68,31

### ANEXO 3: ELEMENTOS LINK RIOSTRAS CASO 2.

Perfil	XL10x5,18	XL10x5,18	XL13x9,56	XL13x9,56	XL10x5,87	XL13x9,56	XL16x14,7
Area [cm2]	6,6	6,6	12,20	12,20	7,50	12,20	18,00
λ	118,5	125,6	91,4	93,0	125,6	96,9	104,4
Ty [ton]	25,05	25,05	46,30	46,30	28,46	46,30	68,31
dy [cm]	0,44	0,47	0,44	0,45	0,47	0,47	0,62
ky [ton/cm]	57,09	53,86	105,52	103,74	61,20	99,55	110,60
L [cm]	235,85	250	235,85	239,91	250	250	332,0
W[N]	239,70	254,08	442,38	449,99	287,92	468,92	478,77
M[kg]	24,43	25,90	45,09	45,87	29,35	47,80	48,80

d [cm]	T [ton]												
-1,76	-2,19	-1,86	-1,90	-1,76	-6,09	-1,79	-5,97	-1,86	-2,16	-1,86	-5,67	-2,47	-7,54
-1,32	-2,31	-1,40	-2,04	-1,32	-6,15	-1,34	-6,04	-1,40	-2,32	-1,40	-5,77	-1,85	-7,75
-0,88	-2,60	-0,93	-2,15	-0,88	-7,94	-0,89	-7,76	-0,93	-2,45	-0,93	-7,30	-1,24	-9,49
-0,42	-4,48	-0,44	-3,69	-0,42	-13,86	-0,42	-13,53	-0,44	-4,19	-0,44	-12,73	-0,59	-16,51
-0,24	-5,43	-0,26	-3,42	-0,24	-24,15	-0,25	-23,33	-0,26	-3,89	-0,26	-21,29	-0,34	-25,65
-0,04	-9,75	-0,04	-11,05	-0,04	-8,80	-0,04	-9,34	-0,04	-12,56	-0,04	-10,67	-0,06	-19,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,33	24,42	0,35	24,42	0,33	45,14	0,33	45,14	0,35	27,75	0,35	45,14	0,46	66,60
0,48	24,42	0,51	24,42	0,48	45,14	0,49	45,14	0,51	27,75	0,51	45,14	0,68	66,60
0,61	24,55	0,65	24,55	0,61	45,37	0,62	45,37	0,65	27,89	0,65	45,37	0,86	66,94
0,88	24,67	0,93	24,67	0,88	45,60	0,89	45,60	0,93	28,04	0,93	45,60	1,24	67,29
1,54	25,05	1,63	25,05	1,54	46,30	1,56	46,30	1,63	28,46	1,63	46,30	2,16	68,31