



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

IDENTIFICACIÓN DE VULNERABILIDADES EN
ESTRUCTURAS BAJO EFECTOS FLEXOTORSIONALES
MEDIANTE ESTUDIOS DE DESPLAZAMIENTOS. ELIPSES
MULTIPLANTARES

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR: Douglas J. GUILLEN RONDÓN.
Israel J. MANAURE ORELLANA.

PROFESOR GUÍA: Ing. Mario Paparoni.

FECHA: Junio, 2016.

TEG: Identificación de Vulnerabilidades en Estructuras Bajo Efectos Flexotorsionales mediante Estudios de Desplazamientos. Elipses Multiplantares.

Agradecimientos.

En primer lugar a Dios, por estar presente siempre en este largo camino y por permitirnos haber llegado hasta aquí.

A nuestro tutor Mario Paparoni por su espíritu académico y por ser un ejemplo a seguir como profesor y profesional. A los ingenieros José Manuel Velásquez y Nicolás Labropoulos por su gran ayuda en la realización de este TEG de manera incondicional.

A nuestra casa de estudios, Universidad Católica Andrés Bello, por ayudarnos en nuestra formación y crecimiento personal. A los profesores de la escuela de Ingeniería Civil porque siempre nos enseñaron el valor de la excelencia.

A nuestros padres porque todo lo que hemos logrado es gracias a ellos. A nuestras hermanas por su compañía incondicional en este camino.

Al equipo que hemos formado como tesistas que hizo posible la culminación de este trabajo especial de grado.

Douglas e Israel.

TEG: Identificación de Vulnerabilidades en Estructuras Bajo Efectos Flexotorsionales mediante Estudios de Desplazamientos. Elipses Multiplantares.

Sinopsis

En el análisis estructural es de vital importancia determinar las condiciones más extremas o desfavorables en una estructura que pueda estar bajo los efectos de cargas sísmicas. Es muy común en estos casos, que el ingeniero se encuentre con configuraciones estructurales propensas a experimentar efectos flexotorsionales debido a la excentricidad entre el centro de masas (CM) y el centro de rigidez (CR) en las plantas de la estructura, cuando en ellas incide una carga sísmica.

Es por ello que este TEG busca identificar vulnerabilidades mediante patrones o perfiles de respuesta que se generan en estructuras de varias plantas con diafragmas rígidos sometidas a flexotorsión, variando la ubicación de los centros de masas así como también las direcciones de las cargas sísmicas que actúan sobre estos.

El desarrollo de este trabajo se realiza a través bases teóricas que tienen su origen en toda una línea de investigación desarrollada por el ingeniero Mario Paparoni, donde estas en resumen:

- Determinan que todos los desplazamientos posibles del CM debido a la aplicación de cargas sísmicas se inscriben en una elipse, independientemente que exista excentricidad o no con respecto al CR.
- Delimitan una zona llamada *Núcleo Central de Torsión* o *NCT* dentro de la cual, la amplificación de los esfuerzos en los elementos estructurales a causa de la excentricidad de las cargas sísmicas (factores de amplificación torsional) son iguales o menores a los que se requieran en la estructura,
- Igualmente determinaron una zona llamada *Límite de Fuerzas Excéntricas* o *LFE* donde se limita la excentricidad de la carga sísmica para que el centro instantáneo de rotación que se genere en una planta no se ubique en una posición que posiblemente produzca efectos desfavorables.

A través del uso del software de análisis estructural ETABS, se modelaron diferentes estructuras, donde se demuestra que estas propiedades se cumplen también en estructuras de varias plantas. Adicionalmente se determinaron nuevas propiedades que identifican al eje mayor de la elipse de desplazamientos de un centro de masas excéntrico como la dirección que tiene una combinación de grandes módulos de torsión y traslación, generando los mayores *factores de amplificación torsional* en los esfuerzos cortantes de las columnas que conforman los pórticos de la periferia.

Otra propiedad estructural importante que se cumple en sistemas multiplantares es la *Lemniscata de Bernoulli*, esta es una curva que se define a través de las excentricidades de una función de carga y por ende hace posible relacionar la rigidez torsional y las rigideces traslacionales de cada planta del sistema, siendo esto una herramienta muy útil para la optimización en estructuras que pueden estar sometidas a flexotorsión, ya que muestra de una forma gráfica si hay excesos o no de rigidez en la planta.

Índice General.

Capítulo 1 – Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Hipótesis.....	2
1.3. Alcances y limitaciones.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
Capítulo 2: Marco Teórico.....	4
2.1. Propiedades Estructurales.....	4
2.1.1. Diafragma Rígido.....	4
2.1.2. Centro de Masas de una Planta (CM).....	4
2.1.3. Centro de Rigidez de una planta (CR).....	4
2.1.4. Excentricidad.....	5
2.1.5. Centro Instantáneo de Rotación (CIR).....	5
2.1.6. Ejes Principales Plantares de una Estructura.....	5
2.1.7. Rigideces Características en Estructuras Resistentes a Fuerzas Laterales.....	6
2.1.8. Rigidez Lateral de una planta.....	6
2.1.9. Rigidez Torsional de una planta.....	6
2.2. Comportamiento Flexional Puro en sistemas estructurales.....	7
2.3. Comportamiento Torsional Puro en sistemas estructurales.....	8
2.4. Comportamiento Flexotorsional en sistemas estructurales.....	8
2.5. Función de Carga Sísmica.....	10
2.6. Transformaciones afines aplicadas a estructuras.....	11
2.7. Elipse de Desplazamientos.....	12
2.8. Determinación Geométrica de los Ejes Principales (Método de Chasles).....	13
2.9. Relación de Fuerza-Deformación.....	14
2.10. Elipse de Rigidez.....	15

2.11. Elipse de Culmann.....	16
2.12. Relaciones Polo-Polar de la Elipse de Culmann.	17
2.13. Factor de amplificación de Torsional (FAT).....	20
2.14. Núcleo Central de Torsión (NCT).....	22
2.15. Límite de Fuerza Excéntrica (LFE).....	24
Capítulo 3 - Marco Metodológico.....	27
3.1. Tipo de Investigación.	27
3.2. Descripción General.	27
3.3. Funciones de Respuesta.....	27
3.4. Elipses de Culmann.	28
3.5. Modelo 1.....	30
3.6. Modelo 2.....	31
3.7. Modelo 3.....	32
3.8. Nomenclatura.	33
Capítulo 4 – Desarrollo y Análisis de Resultados.....	34
4.1. Elipses Multiplantares.	34
4.1.1 Funciones de Respuesta. Modelo 1.	34
4.1.2. Función de Respuesta. Modelo 2.....	36
4.1.3. Análisis de Funciones de Respuestas Generadas.....	37
4.1.4. Funciones Propias de Respuesta.	38
4.1.5. Análisis de Funciones Propias de Respuesta.	39
4.2. Puntos Característicos.	39
4.2.1. Puntos Característicos. Modelo 1.	42
4.2.2. Puntos Característicos. Modelo 2	45
4.2.3. Análisis de Puntos Característicos. Modelo 1.	47
4.2.4. Análisis de Puntos Característicos. Modelo 2	50
4.3. Descripción del Movimiento del CM ante Efectos de Flexotorsión.	52
4.3.1. Análisis del movimiento de los CM del Modelo 1.	54
4.3.2. Análisis y comportamiento de los Módulos de Torsión del Modelo 1.....	54

4.3.3. Descripción de la Lemniscata de Bernoulli del Modelo 1	56
4.3.4. Análisis del movimiento de los CM del Modelo 2.....	60
4.3.5. Análisis y comportamiento de los Módulos de Torsión. Modelo 2.	60
4.3.6. Análisis del Comportamiento de la Lemniscata de Bernoulli. Modelo 2.....	61
4.4. Elipse de Culmann como herramienta de análisis.....	64
4.4.1. Elipses de Rigidez Multiplantares. Modelo 1.....	64
4.4.2. Elipses de Culmann Multiplantares. Modelo 1.	65
4.4.3. Elipse de Rigidez y Elipse de Culmann Multiplantar. Modelo 2.	66
4.4.4. Núcleos Centrales de Torsión Multiplantares (NCT) ³ . Modelo 1.....	68
4.4.5. Posición de los Centros Instantáneos de Rotación (CIR).....	73
4.4.6. Límite de Fuerza Excéntrica Multiplantar. Modelo 1.	75
4.4.7. CIR en las diferentes plantas de la estructura. Modelo 1.	77
4.4.8. Núcleos de Centrales de Torsión Multiplantares. Modelo 2.	82
4.4.9. Límite de Fuerza Excéntrica Multiplantar. Modelo 2.	83
4.4.10. CIR en las diferentes plantas de la estructura. Modelo 2.	83
4.5. Posibles Vulnerabilidades.	84
4.5.1. Factores de Amplificación Torsional. Modelo 3.....	84
4.5.2. Efectos de CIR.....	88
4.5.3. Efectos de otras LAF.	91
4.5.4. Análisis de Casos Estudiados en Modelo 3.....	93
Capítulo 5 – Conclusiones.	95
Capítulo 6 – Recomendaciones.....	98
Bibliografía	99
ANEXOS	101

Índice de Figuras.

<i>Figura 1.- Descripción de comportamiento de traslación pura y flexotorsión. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	5
<i>Figura 2.- Momento Actuante sobre una planta, para obtener el valor de la Rigidez Torsional. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	7
<i>Figura 3.- Comportamiento Traslacional Puro. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	7
<i>Figura 4.- Comportamiento Torsional Puro. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	8
<i>Figura 5.- Torsión inducida por muros excéntricos. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Parodi. S., Reyes. M. (2012).</i>	9
<i>Figura 6.- Ejemplo de representación gráfica de una función de carga con su función de respuesta global de una planta. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	12
<i>Figura 7.- Representación de la Elipse de Desplazamientos, denotado sus ejes principales. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	12
<i>Figura 8.- Caso genérico de ejes conjugados. Ejes conjugados distintos a los ejes principales. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	13
<i>Figura 9.- Método de Dibujo de Chasles. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	14
<i>Figura 10.- Ejemplo ilustrativo del método gráfico de afinidad para determinar el desplazamiento para cualquier dirección de aplicación de fuerza, mediante el uso de funciones afín. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Parodi. S., Reyes. M. (2012).</i>	15
<i>Figura 11.- Representación de la Elipse de Rigidez, denotado sus ejes principales. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	16
<i>Figura 12.- Representación de la Elipse de Culmann, denotado sus ejes principales. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).</i>	17
<i>Figura 13.- Recta Polar (t) de un punto P sobre la Elipse o Fuera de ella. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Paz. O., Peña O. (2011).</i>	17
<i>Figura 14.- Recta Polar (t) de un punto P interno a la elipse. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Paz. O., Peña O. (2011).</i>	18
<i>Figura 15.- Relación Polo-Antipolo. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Paz. O., Peña O. (2011).</i>	18
<i>Figura 16.- Aplicación de la Elipse de Culmann como herramienta de Análisis Estructural. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Gonzales. M., Paredes., F. (2013).</i>	19

<i>Figura 17.- Factor de amplificación torsional de los desplazamientos asociados a la Elipse de Culmann. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi. S., Reyes. M. (2012).</i>	20
<i>Figura 18.- Núcleo Central de Torsión (NCT) obtenido a partir de relaciones polo-polar en la Elipse de Culmann. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Paz., O., Peña., O. (2011).</i>	23
<i>Figura 19.- Conceptualización del Límite de Fuerza Excéntrica (LFE). Paso 1. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi., S., Reyes., M. (2012).</i>	24
<i>Figura 20.- Conceptualización del Límite de Fuerza Excéntrica (LFE). Paso 2. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi., S., Reyes., M. (2012).</i>	25
<i>Figura 21.- Conceptualización del Límite de Fuerza Excéntrica (LFE). Paso 3. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi., S., Reyes., M. (2012).</i>	25
<i>Figura 22.- Conceptualización del Límite de Fuerza Excéntrica (LFE). Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi., S., Reyes., M. (2012).</i>	26
<i>Figura 23.- Carga Sísmica</i>	29
<i>Figura 24.- Función de Momentos</i>	29
<i>Figura 25.- Vista de Planta y 3D del Modelo 1.</i>	30
<i>Figura 26.- Vista de Planta y 3D, Modelo 2.</i>	31
<i>Figura 27.- Vista de Planta y 3D, Modelo 3.</i>	32
<i>Figura 28.- Funciones de Respuesta de los CR. Modelo 1.</i>	34
<i>Figura 29.- Ubicación del eje de masas excéntrico, caso 2. Modelo 1.</i>	35
<i>Figura 30.- Funciones de Respuesta de los puntos que coinciden en un Eje de Masas Excéntrico. Modelo 1.</i>	35
<i>Figura 31.- Funciones de Respuesta de los CR. Modelo 2.</i>	36
<i>Figura 32.- Ubicación del eje de masas, caso 2. Modelo 2.</i>	36
<i>Figura 33.- Funciones de Respuesta de los puntos que coinciden en un Eje de Masas Excéntrico. Modelo 2.</i>	37
<i>Figura 34.- Elipse propia de la planta 2 de un punto externo. Modelo 1.</i>	38
<i>Figura 35.- Elipse propia de la planta 2 de un punto externo. Modelo 2.</i>	39
<i>Figura 36.- Determinación de las radiales del modelo 1.</i>	40
<i>Figura 37.- Determinación de las radiales del modelo 2.</i>	41
<i>Figura 38.- Comportamiento entre elipses de Desplazamientos. Modelo 1.</i>	43
<i>Figura 39.- Distribución de los Puntos Característicos de la planta 1, Modelo 1</i>	43
<i>Figura 40.- Superposición de todos los Puntos Notables sobre la radial L₈₀ de la planta 2 del Modelo 1.</i>	44
<i>Figura 41.- Superposición de todos los Puntos Notables sobre la radial L₄₀ de la planta 2 del Modelo 1.</i>	44
<i>Figura 42.- Distribución de los Puntos Característicos del Modelo 2.</i>	45
<i>Figura 43.- Superposición de los Puntos Notables sobre la radial L₄₀ de la planta 2, Modelo 2.</i>	46

<i>Figura 44.- Superposición de todos los Puntos Notables sobre la radial L₈₀ de la planta 2 del Modelo 1.</i>	46
<i>Figura 45.- Distribución de Puntos Notables en la Planta 2 del Modelo 1.</i>	47
<i>Figura 46.- Comportamiento de los Ejes Principales para los puntos D de piso 1 y 2 del modelo 1(medidas en mm).</i>	49
<i>Figura 47.- Comportamiento de los puntos Q y CR en la L₉₀ de todas las plantas del Modelo 1(medidas en mm).</i>	50
<i>Figura 48.- Comportamiento de los Puntos Característicos del Modelo 2 (Medidas en mm).</i>	50
<i>Figura 49.- Comportamiento de los Puntos Q en la L₀ de todas las plantas del Modelo 2 (Medidas en mm).</i>	51
<i>Figura 50.- Comportamiento de los Ejes Principales para los puntos F_{P1} y F_{P2} del Modelo 2 (medidas en mm).</i>	52
<i>Figura 51.- Descripción del movimiento de los CM excéntricos al CR (Flexotorsión). Imagen extraída del TEG (UCAB) Parodi, S., Reyes, M. (2012).</i>	52
<i>Figura 52.- Comportamiento de las Componentes del Desplazamiento Total del punto A₂₀ del Modelo 1.</i>	53
<i>Figura 53.- Comportamiento de los Módulos de Torsión del Modelo 1 en distintas radiales de planta 3(medidas en mm).</i>	55
<i>Figura 54.- Lemniscatas de Bernoulli Vertical en todas las plantas del Modelo 1.</i>	57
<i>Figura 55.- Módulos de Torsión de los puntos de equilibrio sobre de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 1 (medidas en mm).</i>	58
<i>Figura 56.- Módulos de Torsión de los ejes principales de desplazamientos dentro de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 1(medidas en mm).</i>	58
<i>Figura 57.- Módulos de Torsión fuera de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 1(medidas en mm).</i>	58
<i>Figura 58.- Componentes del Desplazamiento Total del Punto F_{20.P3} del Modelo 2.</i>	60
<i>Figura 59.- Comportamiento de los Módulos de Torsión los ejes principales de desplazamiento en la Planta 2. Modelo 2 (Medidas en mm).</i>	60
<i>Figura 60.- Lemniscatas de Bernoulli en todos los pisos del modelo 2.</i>	62
<i>Figura 62.- Módulos de Torsión sobre de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 2 (medidas en mm).</i>	63
<i>Figura 61.- Módulos de Torsión dentro de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 2(medidas en mm).</i>	63
<i>Figura 63.- Módulos de Torsión fuera de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 2(medidas en mm).</i>	63
<i>Figura 64.- Elipses de Culmann en todos los pisos en Modelo 1(medidas en mm).</i>	65
<i>Figura 65.- Superposición de Elipses de Culmann de todos los pisos en Modelo 1 (medidas en mm).</i>	66

<i>Figura 66.- Superposición de Elipses de Culmann de todos los pisos en Modelo 2 (medidas en mm).</i>	68
<i>Figura 67.- NCT de cada uno de las plantas del Modelo 1(medidas en mm).</i>	69
<i>Figura 68.- Superposición de los NCT de cada planta del Modelo 1, donde se puede observar su comportamiento y su cercanía (medidas en mm).</i>	69
<i>Figura 69.- Núcleo Definitorio para el Modelo 1 (medidas en mm).</i>	72
<i>Figura 70.- Posición del CIR para una misma dirección de fuerza³.</i>	73
<i>Figura 71.- Lugar geométrico de los CIR de un punto³.</i>	73
<i>Figura 72.- Comportamiento de los CIR en dos plantas consecutivas. Extraído de ANEXOS de TEG UCAB. Parodi. S., Reyes. M. (2012).</i>	75
<i>Figura 73.- LFE (Líneas Segmentadas) y NCT (Líneas Continuas) de cada una de las plantas del modelo 1. (Medidas en mm).</i>	76
<i>Figura 74.- Superposición de todos los LFE y NCT del modelo 1(Medidas en mm).</i>	76
<i>Figura 75.- Núcleo Definitorio de LFE para el Modelo 1.</i>	77
<i>Figura 76.- Posición de los Puntos Característicos en la planta 1 del Modelo 1 con respecto al LFE.</i>	78
<i>Figura 77.- Posición de los CIR y Rectas P_{C40} en todas las Plantas del Modelo 1 (medidas en mm).</i>	79
<i>Figura 78.- Relaciones Polo-Polar para determinar de las LAF (Polar) para que los CIR (Antipolos) entren en la planta.</i>	80
<i>Figura 79.- Posición de los CIR y recta "P_{B30}" de cada una de las plantas del modelo 1. (Medidas en mm).</i>	81
<i>Figura 80.- Superposición de los NCT (línea continua, LFE (línea segmentada) de cada planta del Modelo 2 (medidas en mm).</i>	82
<i>Figura 81.- NCT (línea continua) y LFE (línea segmentada) Definitorios del Modelo 2 (medidas en mm).</i>	82
<i>Figura 82.- Posición de los Puntos Característicos en la planta 1 del Modelo 2 con respecto al LFE Definitorio y NCT Definitorio.</i>	83
<i>Figura 83.- Posición de los CIR, Rectas P del Punto F_{20} en todas las Plantas del Modelo 2. Direcciones de Carga Sísmica que generan CIR dentro de la Planta. (Medidas en mm).</i>	84
<i>Figura 84.- Nomenclatura y Dirección de los Ejes Locales de cada una de las columnas de las plantas del Modelo 3.</i>	85
<i>Figura 85.- Esfuerzos Cortantes V3 (Pórtico C) cuando se aplica la carga sísmica en el CR paralela a la dirección del eje menor de desplazamientos (Eje Y). Modelo 3 (Resultados en Tonf).</i>	86
<i>Figura 86.- Esfuerzos Cortantes V2 (Pórtico 2) cuando se aplica la carga sísmica en el CR paralela a la dirección del eje menor de desplazamientos (Eje X). Modelo 3 (Resultados en Tonf).</i>	87

Figura 87.- Esfuerzos Cortantes V3 (Pórtico C) cuando se aplica la carga sísmica en el CR en dirección 70° respecto al Eje X. Modelo 3 (Resultados en Tonf). 87

Figura 88.- Esfuerzos Cortantes V2 (Pórtico 2) cuando se aplica la carga sísmica en el CR en dirección 70° respecto al Eje X. Modelo 3 (Resultados en Tonf). 88

Figura 89.- Superposición de Ubicación de los puntos para los casos 1,2 y 3; NCT y LFE definitorios, Elipse de Culmann y Direcciones de Carga Sísmica que generan CIR dentro de la Planta. Modelo 3 (Medidas en mm). 89

Figura 90.- Fuerza que genera CIR más cercano al CR, para los puntos sobre la radial L27. 90

Figura 91.- Fuerza que genera CIR más cercano al CR, para los puntos sobre la radial L35. 91

Índice de Tablas

<i>Tabla 1.- Cargas sísmicas tipo 1, Modelos 1 y 2.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2.- Magnitud de Cargas Sísmicas tipo 1 (a), tipo 2 (b). Modelo 3.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3.- Magnitud de la Función de Momento Torsores en los.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4.- Desplazamiento del punto característico $A_{C60.P1}$ y los puntos superiores del Eje de Masas. Modelo 1</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 5.- Desplazamiento del punto característico $A_{C60.P1}$ y los puntos superiores del Eje de Masas. Modelo 2</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 6.- Relación entre el Área de la Lemniscata y el Área de la Planta en Modelo 1</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 7.- Comportamiento de las Áreas de las Lemniscatas de Bernoulli con respecto al área de la planta del Modelo 2.</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 8.- Cálculos para la determinación de la Elipse de Rigidez Multiplantar del Modelo 1.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 9.- Cálculos para la determinación de la Elipse de Culmann Multiplantar.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 10.- Cálculo para la determinación de la Elipse de Rigidez Multiplantar del Modelo 2.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 11.- Cálculo para la determinación de la Elipse de Culmann Multiplantar del Modelo 2.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 12.- Resultados de los Esfuerzos Cortantes en dirección “Y” en diferentes posiciones del Eje de Masas (EM) para el modelo 1.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 13.- Esfuerzos Cortantes y FAT en la planta 1, correspondientes al Caso 2 sobre la radial L_{27}, al aplicar una Carga Sísmica Tipo 1 en la dirección de mayor desplazamiento (108°).</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 14.- Esfuerzos Cortantes y FAT en la planta 2, correspondientes al Caso 2 sobre la radial L_{27}, al aplicar una Carga Sísmica Tipo 1 en la dirección de mayor desplazamiento (108°).</i>	<i>92</i>

Capítulo 1 – Introducción.

1.1. Planteamiento del problema.

Hoy en día, el ingeniero civil estructural posee herramientas computacionales eficaces y avanzadas que simplifican el análisis (SAP2000, ETABS, etc.), es por ello, que se exigen configuraciones estructurales cada vez más extremas. Para hacer frente al diseño de dichas estructuras de mayor complejidad es necesario que existan bases cada vez más sólidas en el conocimiento de su comportamiento, especialmente, como es la respuesta de estas ante cargas horizontales excéntricas o no al centro de rigidez que puedan generar efectos de flexotorsión.

Dicho efecto poco comprendido a profundidad, es el núcleo de toda una línea de investigación guiada por el Ingeniero Mario Paparoni, en donde se demuestra que hay una relación entre las solicitaciones de cargas y las respuestas que se generan en las estructuras.

Haciendo uso de estos conocimientos, se tiene una visión global de la estructura a través de los perfiles o patrones de respuesta de los desplazamientos que se generan debido a la aplicación de funciones de carga, los cuales nos permiten visualizar de forma gráfica las posibles vulnerabilidades estructurales en todos sus niveles.

Cuando hablamos de las posibles vulnerabilidades, es importante destacar lo difícil que es identificarlas en un sistema estructural, siendo este uno de los problemas principales de hoy en día para el ingeniero, ya que no se sabe con precisión cuál es el comportamiento de la estructura como sistema.

Con esta motivación se plantea este Trabajo Especial de Grado, donde se busca llevar esta línea de investigación al siguiente nivel, analizando estructuras regulares multiplantares con diafragmas rígidos, sometidas a flexotorsión a partir del estudio de los desplazamientos de los centros de masas de las plantas, que pueden ser perjudiciales para elementos principales como las columnas; mediante la aplicación de métodos geométricos de análisis estructural (Elipses de

Culmann, Elipses de Rigidez, Núcleo Central de Torsión, Límite de Fuerzas Excéntricas, entre otros).

Todo esto es importante, ya que el ingeniero al tener una visión más amplia del problema, puede desarrollar un mejor criterio para la toma de decisiones, y por ende, evitar que ciertos factores importantes como lo son la direcciones principales de desplazamiento, rigidez, respuestas flexotorsionales, entre otros, sean ignorados y en consecuencia se ponga en riesgo la seguridad del usuario final, o por el contrario, se sobrediseñe al tener incertidumbre de los efectos a los cuales pueda estar sometida la edificación, lo que se resume en un aumento considerable de los costos de construcción.

1.2. Hipótesis.

- La ubicación del centro de rigidez (CR) de cada planta permanecerá constante en todos los casos estudiados.
- Los centros de masas (CM) de las plantas coinciden en un eje vertical llamado *eje de masas* en todos los casos estudiados, debido a una distribución uniforme de las masas en todas las plantas de la estructura.

1.3. Alcances y limitaciones.

Se estudiarán sólo tres (3) estructuras de varias plantas, cuyo análisis se realizará considerando que estas se encuentran en el rango lineal de los materiales. Todas poseen diafragmas idealmente rígidos en cada uno de los niveles y se despreció en todo momento el peso propio de los elementos del sistema estructural, así como cualquier otro tipo de carga distinta a la fuerza horizontal supuesta, para que de esa forma sólo se enfoque el estudio en los efectos que se producen en la estructura bajo cargas sísmicas horizontales.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Estudiar el comportamiento de varias estructuras bajo la acción de fuerzas horizontales excéntricas mediante la aplicación de elipses multiplantares de desplazamientos que permitan identificar sus vulnerabilidades.

1.4.2. Objetivos específicos.

1. Describir e ilustrar el comportamiento de los diafragmas rígidos ante fuerzas excéntricas mediante la determinación de puntos notables o característicos dentro de cada una de las plantas.
2. Describir propiedades que se cumplan en un grupo de estructuras regulares multiplantares con diafragmas rígidos, al aplicar una fuerza horizontal excéntrica; proporcionando una base de investigación básica para futuros estudios de sensibilidad de las estructuras ante la flexotorsión.
3. Determinar el comportamiento del Centro Instantáneo de Rotación (CIR) de cada planta a estudiar, para definir los Límites de Fuerzas Excéntricas (LFE) de cada uno de los pisos.
4. Relacionar el Límite de Fuerzas Excéntricas con el Núcleo Central de Torsión, en la búsqueda de posibles vulnerabilidades.
5. Haciendo uso del LFE y las propiedades de las posiciones de los CIR definidas, desarrollar límites de excentricidad en función de la posición de los CIR en estructuras de varias plantas con diafragmas rígidos, registrando la magnificación de los esfuerzos en las columnas.

Capítulo 2: Marco Teórico.

El marco teórico de este TEG como continuación de la línea de investigación del Ing. Mario Papanoni, comparte referencias teóricas de investigaciones anteriores que permiten entender una serie de propiedades estructurales, así como también el comportamiento flexotorsional que puede presentarse en una estructura ante acciones sísmicas.

2.1. Propiedades Estructurales.

2.1.1. Diafragma Rígido.

Según la Norma Venezolana COVENIN 2004:1998, Terminología de las Normas COVENIN-MINDUR de edificaciones establece un diafragma rígido como: “*Parte de la estructura, generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano, diseñada para transmitir las fuerzas a los elementos verticales del sistema resistente a sismos*”. Los diafragmas rígidos tienen la propiedad de no deformarse en su plano, es decir, no existen desplazamientos relativos entre los puntos en su plano. Adicionalmente permite distribuir la fuerza cortante a cada elemento estructural y compatibilizar las deformaciones.

2.1.2. Centro de Masas de una Planta (CM).

Su ubicación viene dada por $X_{CM} = \frac{\sum m \cdot x}{\sum m}$; $Y_{CM} = \frac{\sum m \cdot y}{\sum m}$. Representa un punto donde se equilibran todas las masas o pesos del sistema. Este no necesariamente coincide con el centro geométrico del diafragma, ya que la distribución de las masas sobre el área de la planta podría no ser uniforme.

2.1.3. Centro de Rigidez de una planta (CR).

La norma venezolana COVENIN 1756-1:2001 de edificaciones sismorresistentes define el centro de rigidez de un nivel como: “*Punto del nivel donde al aplicar una fuerza cortante horizontal, el nivel se traslada sin rotar respecto al nivel inferior*”. Es decir, que el nivel (Diafragma rígido) se encuentra bajo traslación pura. Para el caso de torsión pura el CR gira

sobre su propio eje en conjunto con el diafragma pero no se traslada, y finalmente en el caso de flexotorsión este centro puede desplazarse en una dirección y girar con cierta magnitud que depende de la distancia entre la fuerza aplicada y el CR.

2.1.4. Excentricidad

Es la mínima distancia entre la línea de acción de fuerza (LAF) y el CR de un diafragma rígido. Si en una planta el centro de masas no coincide con el CR (caso muy común) se generará ante un sismo una fuerza horizontal excéntrica, haciendo que la misma esté bajo flexotorsión.

2.1.5. Centro Instantáneo de Rotación (CIR).

El CIR de un diafragma rígido es aquel punto que no experimenta ni rotación ni traslación cuando se aplica una fuerza excéntrica o no al centro de rigidez en un instante dado. Cuando se aplica una fuerza en el CR el diafragma tiende a desplazarse con respecto a un CIR que está en el infinito. Este es el caso típico de Traslación Pura de un sistema estructural (ver Figura 1). Por otro lado, cuando la fuerza comienza a alejarse del CR (mayor excentricidad) se presenta el caso de Flexotorsión el cual produce que el diafragma gire y se traslade (incluyendo el CR) con respecto a un CIR definido (ver figura 1).

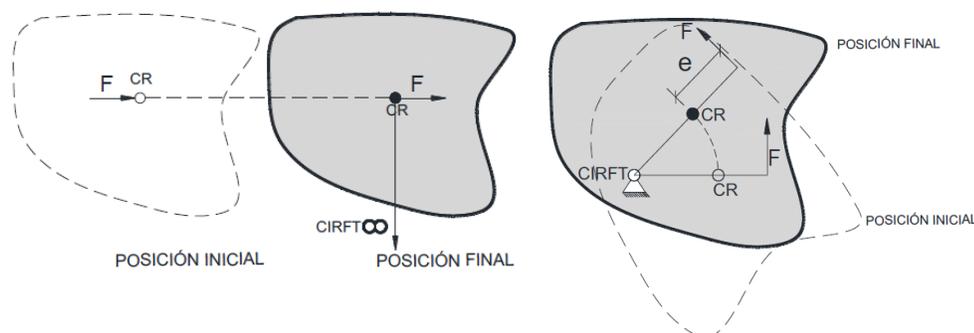


Figura 1.- Descripción de comportamiento de traslación pura y flexotorsión. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

2.1.6. Ejes Principales Plantares de una Estructura.

Los ejes principales definen cual es la dirección donde la aplicar una fuerza en el CR de una planta, esta experimenta un desplazamiento máximo o mínimo, sin rotar. Estas direcciones

siempre son ortogonales entre sí, además coinciden con la dirección de aplicación de la fuerza, es decir, que cuando se aplica una fuerza en una dirección distinta a los ejes principales, la dirección del desplazamiento y la dirección de dicha fuerza no coinciden. Toda estructura con un sistema resistente a fuerzas laterales sin importar su configuración posee estos ejes. Es muy importante conocer estas direcciones ya que nos indican los ejes principales de traslación de la estructura y son una propiedad importante para entender el comportamiento flexotorsional.

2.1.7. Rigideces Características en Estructuras Resistentes a Fuerzas Laterales.

La rigidez es la propiedad que indica cómo será el comportamiento de la estructura ante determinada sollicitación. Para este caso en que la estructura se encuentra en el campo lineal de los materiales, la rigidez es un factor muy importante ya que permite resistir las fuerzas horizontales. Estas fuerzas pueden estar aplicadas en distintas partes de la estructura lo que produce que el sistema tienda a sufrir traslación, torsión o una combinación de ambas.

2.1.8. Rigidez Lateral de una planta.

La norma venezolana COVENIN 1756-1:2001 de edificaciones sismorresistentes define la rigidez lateral de un entrepiso como: *“Resultado de dividir la fuerza cortante y la diferencia de desplazamientos laterales elásticos entre dos pisos del entrepiso en consideración”*. En otras palabras, es la fuerza cortante horizontal necesaria para producir un desplazamiento lateral unitario en una planta dada. Normalmente la rigidez traslacional en una estructura se obtiene como la razón entre la fuerza cortante actuante en la planta en estudio y su deriva. Según la norma ya mencionada deriva se define como *“Diferencia entre los desplazamientos laterales totales entre dos niveles o pisos consecutivos”*.

2.1.9. Rigidez Torsional de una planta.

La rigidez torsional (R_z) es una propiedad notable en estructuras sometidas a fuerzas laterales. La misma depende de dos puntos importantes: el primero de la magnitud de la rigidez traslacional de los elementos estructurales y el otro punto es la configuración de dicho elementos (espaciamientos respecto al CR). Se puede definir como el cociente entre el momento torsor de

una planta determinada y la diferencia de las rotaciones totales entre la planta en consideración y la planta inferior (medidas en radianes). Entendiéndose como Momento Torsor de la planta a la suma del momento aplicado en dicha planta y los momentos aplicados en las plantas superiores producto de la excentricidad de las cargas actuantes.

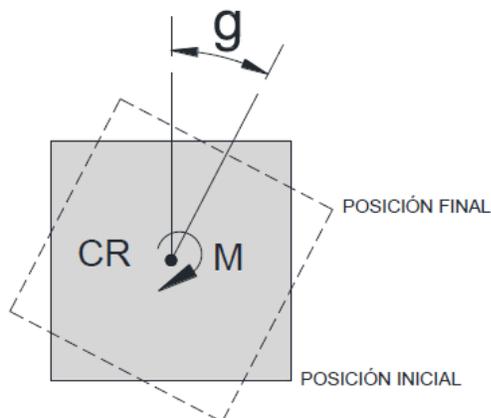


Figura 2.- Momento Actuante sobre una planta, para obtener el valor de la Rigidez Torsional. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011)

$$R_z = M / \theta \quad (2.1)$$

2.2. Comportamiento Flexional Puro en sistemas estructurales.

Este comportamiento se considera que ocurre en un sistema estructural cuando las fuerzas horizontales están siendo aplicadas en los centro de rigidez sin importar cuál sea la dirección de aplicación. Este comportamiento es el deseable en cualquier tipo de estructura ya que no genera amplificación de fuerzas cortantes.

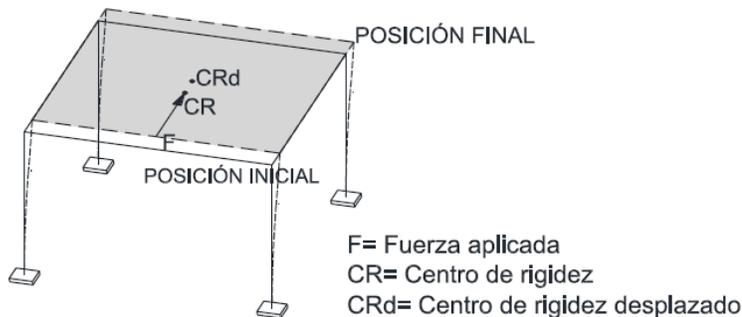


Figura 3.- Comportamiento Traslacional Puro. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

2.3. Comportamiento Torsional Puro en sistemas estructurales.

Este comportamiento se produce cuando la torsión entra a la estructura como momento puro. En este caso la torsión es resistida por la estructura gracias a la rigidez torsional. El movimiento que se produce en la estructura es de rotación con respecto al CR (este es el único caso donde el CR y el CIR coinciden). Pero este comportamiento por sí solo es prácticamente imposible que ocurra en un evento sísmico.

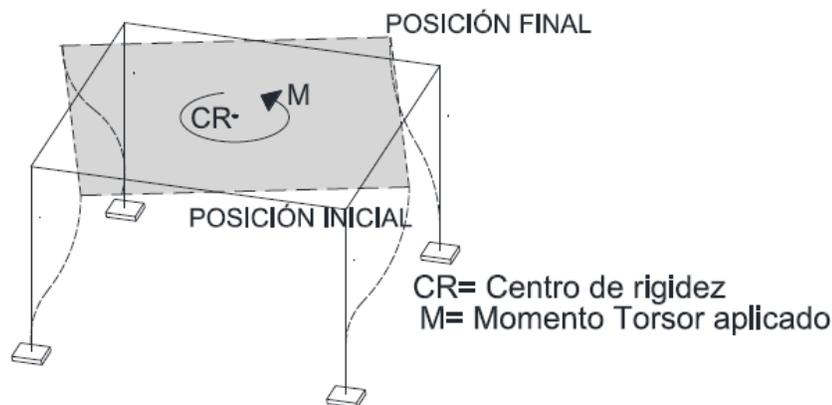


Figura 4.- Comportamiento Torsional Puro. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

2.4. Comportamiento Flexotorsional en sistemas estructurales.

El comportamiento flexotorsional de edificaciones sometidas a fuerzas sísmicas es quizás uno de los temas más tratados pero menos entendidos actualmente por la ingeniería civil moderna debido a que encierra una aparente gran complejidad, donde básicamente se necesita aplicar un tratamiento totalmente espacial para entender dicho fenómeno que depende de dos propiedades importantes de la estructura, las cuales son la rigidez traslacional y la rigidez torsional. Ya que la combinación de estas permiten resistir la combinación de fuerzas traslacionales y torsionales que se presentan en un sismo. También es válido entender este comportamiento, como una combinación de los dos casos explicados anteriormente. La torsión puede subdividirse en tres tipos de problemas diferentes según sus causas:

Torsión elástica: en términos elásticos, tiene lugar por excentricidad del centro de masa con relación al centro de rigidez. Los tres grandes casos que pueden dar lugar a dicha situación en planta son:

- Posición de la estructura más rígida de manera asimétrica con respecto al centro de gravedad del piso.
- Colocación de grandes masas en forma asimétrica con respecto a la rigidez.
- Combinación de las dos situaciones anteriores.

Si se contempla además la situación en altura, el panorama de la torsión puede complicarse aún más cuando hay irregularidades verticales, como los escalonamientos: la parte superior del edificio transmite a la inferior un cortante excéntrico, lo cual provoca torsión del nivel de transición hacia abajo, independientemente de la simetría o asimetría estructural de los pisos superiores e inferiores.

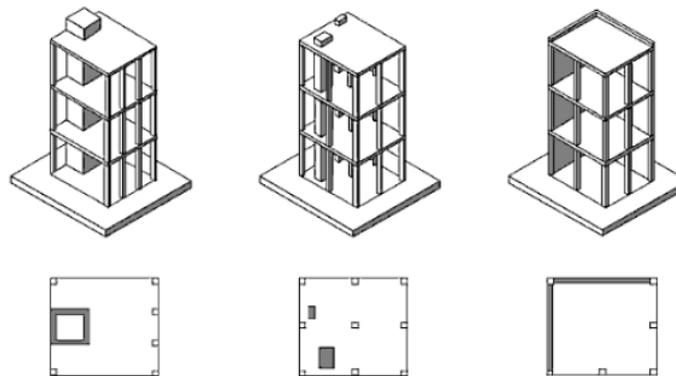


Figura 5.- Torsión inducida por muros excéntricos. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Parodi. S., Reyes. M. (2012).

A manera referencial, puede considerarse que una excentricidad entre el centro de masas y el de rigidez es grande cuando supera el 10% de la dimensión en planta bajo análisis.

Torsión inelástica o accidental: la respuesta efectiva de la estructura ante un sismo intenso es muy compleja. En ella participan en conjunto los términos de resistencia y de rigidez,

por lo que múltiples factores, como son el tipo de diseño, la calidad de la construcción de los elementos, los daños que se vayan presentando, etc., definen la respuesta real. Por esta razón, se presenta una torsión adicional a la supuesta por el modelo elástico, que sólo abarca como variables la rigidez de los elementos.

Torsión natural: Por su propia naturaleza, el sismo conlleva componentes rotacionales que inducen pares de fuerzas en la estructura desde su base, haciendo que el fenómeno torsional deba ser considerado aun en edificios simétricos. El efecto torsional se puede presentar también por el frente de onda, donde las perturbaciones ondulatorias pueden alcanzar ciertas partes de la edificación en distintos tiempos, generando movimiento torsional.

Tanto la torsión natural como la accidental deben ser consideradas inevitables, debido a la naturaleza del fenómeno y a la del diseño estructural inelástico, respectivamente. Generalmente, ambos términos quedan contemplados en los códigos de diseño dentro del valor de una excentricidad total que viene representada como:

$$e_{\text{total}} = e_{\text{elástica}} + e_{\text{adicional}} (\text{inelástica+natural})$$

Usualmente, la excentricidad adicional se toma como una fracción de la dimensión en planta perpendicular a la dirección bajo análisis. Esta fracción oscila entre el 5% y el 10%. Sin embargo, para ciertos tipos de edificaciones (largos, sobre terrenos blandos, etc.) puede ser conveniente un análisis más detallado.

2.5. Función de Carga Sísmica.

Una carga sísmica es una fuerza aplicada en los centros de masas de la estructura producto de la excitación sísmica actuando a nivel de la base. Mientras que una función de carga representa a una carga sísmica de magnitud constante que rota cada cierto ángulo, generando deformaciones y esfuerzos según cada línea de acción de fuerza. Esta carga es aplicada en cualquier punto de la estructura. Según la norma venezolana COVENIN 1756-1:2001 de Edificaciones Sismorresistentes en la Tabla 9.1 “*Selección del método de análisis para edificios*

de estructuras regulares” dice que para estructuras que no excedan 10 pisos ni 30 metros de altura se pide un requerimiento mínimo de Análisis Estático, por esta razón la norma recomienda utilizar el Método Estático Equivalente (Artículo 9.3 de la norma) para determinar la distribución de las magnitudes de las cargas sísmicas en cada una de las plantas de la estructura.

2.6. Transformaciones afines aplicadas a estructuras.

El vínculo existente entre las funciones de carga y las funciones de respuesta se puede explicar a través de las afinidades, ya que cumplen cabalmente con las propiedades de las mismas, y al relacionarlo de esta manera se logra entender de una forma integral el comportamiento de las estructuras, es decir, sus respuestas ante las funciones de carga. De otra manera, al calcular las elipses estructurales, se están aplicando las transformaciones afines.

Una transformación afín consiste en una traslación y una rotación rígida de un plano o figura dentro del mismo, al que luego se le realizan dos alargamientos o contracciones determinadas, o lo que es lo mismo se les aplica un escalado variable en dos direcciones, también incluye los cambios de angulación de los ejes coordenados (Cortante y distorsión). No es necesario realizar todas estas operaciones, sólo alguna o algunas de ellas.

Las transformaciones afines pueden explicar por qué existe una relación total entre las funciones de carga aplicadas a una estructura y las funciones de respuesta que la misma muestra. Es decir, si un edificio es cargado con una función, la respuesta del edificio será una función afín. Conocer esta función de respuesta es muy importante porque ayuda a conocer la dirección de la fuerza más desfavorable para cada elemento en particular y con esto obtener la mayor sollicitación para el diseño del elemento.

La *función de respuesta* global del sistema permite entender el comportamiento de la estructura ante fuerzas sísmicas. En la siguiente figura se representa un edificio con una función de carga circular aplicado en el centro de rigidez, dicha función produce una función de respuesta (elipse verde, no se encuentra a escala) que representa el desplazamiento del diafragma como consecuencia de la carga rotante de magnitud constante.

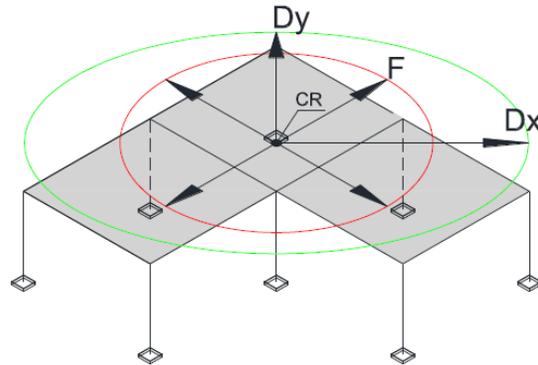


Figura 6.- Ejemplo de representación gráfica de una función de carga con su función de respuesta global de una planta. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

2.7. Elipse de Desplazamientos.

La elipse de deflexiones es una función de respuesta de la estructura y se define como el lugar geométrico de todos los posibles desplazamientos que se obtienen al aplicar una fuerza rotante constante en un punto determinado de un diafragma rígido en una estructura. Es importante señalar que, independientemente de la magnitud de la fuerza, la elipse de desplazamientos siempre tendrá la misma relación entre ejes principales de la estructura. Esta elipse prácticamente es el punto de partida para analizar las bondades o desventajas de una estructura ya que permite identificar como es el comportamiento flexional y el grado de irregularidad que tiene la estructura. Gracias a esta elipse, es posible determinar los ejes principales plantares de una estructura con cualquier configuración, estos coinciden con el eje menor y mayor de esta elipse ($D'11$ y $D'22$ en figura 7).

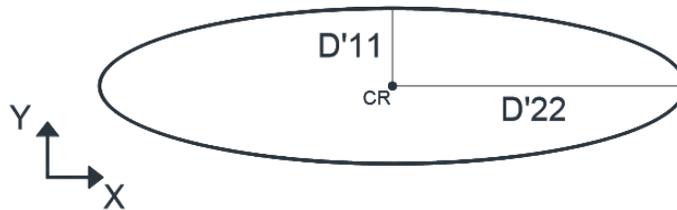


Figura 7.- Representación de la Elipse de Desplazamientos, denotado sus ejes principales. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

2.8. Determinación Geométrica de los Ejes Principales (Método de Chasles).

La afinidad que existe entre una función de carga (circunferencia) y su función de respuesta (elipse de desplazamiento) permite aplicar dos fuerzas conjugadas (Fuerzas perpendiculares entre sí) que representan una circunferencia de carga. Al aplicar estas fuerzas en cualquier punto de la estructura se calculan los desplazamientos asociados a dichas fuerzas y se obtienen dos ejes conjugados de la función de respuesta. Cuando la función de desplazamiento está formada por dos desplazamientos ortogonales de igual magnitud, entonces la función de respuesta es una circunferencia, en caso contrario si se generan desplazamientos de magnitudes distintas y las direcciones de los desplazamientos coinciden o no con la dirección de la fuerza, entonces la función que se obtiene es una elipse, en este caso se debe aplicar metodologías de dibujo de elipses a partir de un par de ejes conjugados obtenidos por la afinidad.

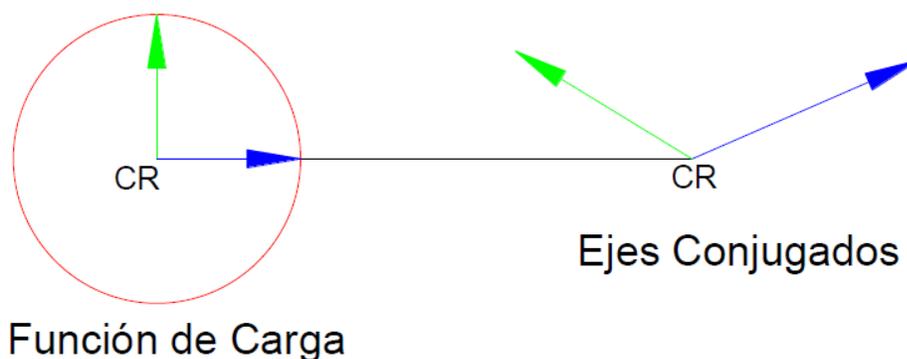


Figura 8.- Caso genérico de ejes conjugados. Ejes conjugados distintos a los ejes principales.
 Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

El método de dibujo usado es el de Chasles. Consiste en trazar por el extremo I de uno de los diámetros, la perpendicular IN igual al semidiámetro OK. Se une luego el punto N, obtenido anteriormente, con O, se traza la circunferencia de diámetro ON (que debe pasar por R) y la secante IH, determinada por su centro M y el punto I que corta a la circunferencia en L y H. Los punto L y H nos determinan las direcciones OL y OH de los semiejes de la elipse y sus longitudes $a = OB = IH$ y $b = OD = IL$.

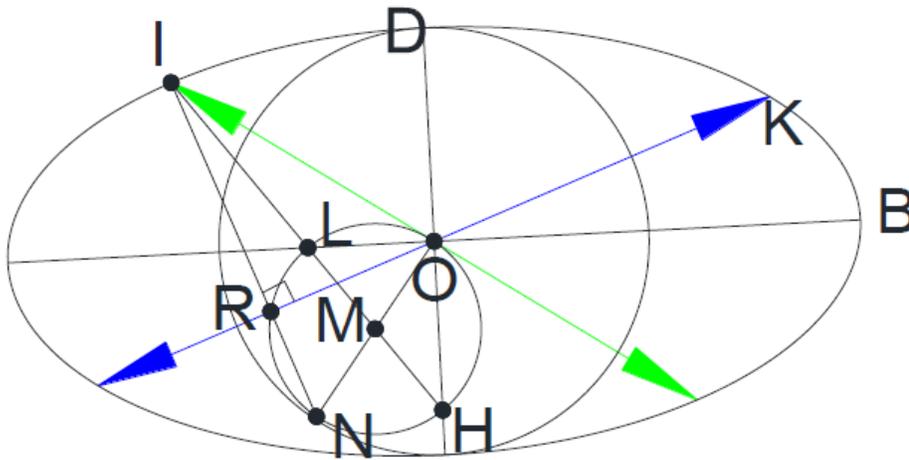


Figura 9.- Método de Dibujo de Chasles. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

2.9. Relación de Fuerza-Deformación.

Las relaciones fuerza-deformación se dan en todas las estructuras que existen y dependen de la rigidez y del material de sus elementos, ya que mientras un elemento o un sistema de elementos sean más rígidos o tengan un mayor módulo de elasticidad las deformaciones serán menores. Anteriormente, se dijo que existe una relación de afinidad entre las funciones de carga y las funciones de respuesta de edificios. Es decir, que existen relaciones entre las fuerzas y las deflexiones que se pueden obtener por la vía matemática o por la vía geométrica de las transformaciones afines.

Si suponemos que se conocen la dirección de los ejes principales plantares y la magnitud de los desplazamientos en estas direcciones, se puede obtener la función de respuesta del sistema (Elipse de Desplazamientos). Para ilustrar mejor el método se usará un ejemplo.

El procedimiento consiste en trazar dos circunferencias, una de diámetro igual al eje menor de la elipse de desplazamientos (Círculo 3) y otra de diámetro igual al eje mayor de la elipse de desplazamientos (Círculo 2), luego se traza la dirección de la fuerza y se trazan paralelas a los ejes mayor y menor de la elipse por los puntos de corte de la recta dibujada en la

dirección de la fuerza y las dos circunferencias, en el punto que se intercepten las paralelas que pertenezca a la elipse al unirlo con el centro de la misma representará la dirección del desplazamiento asociado a la fuerza dada.

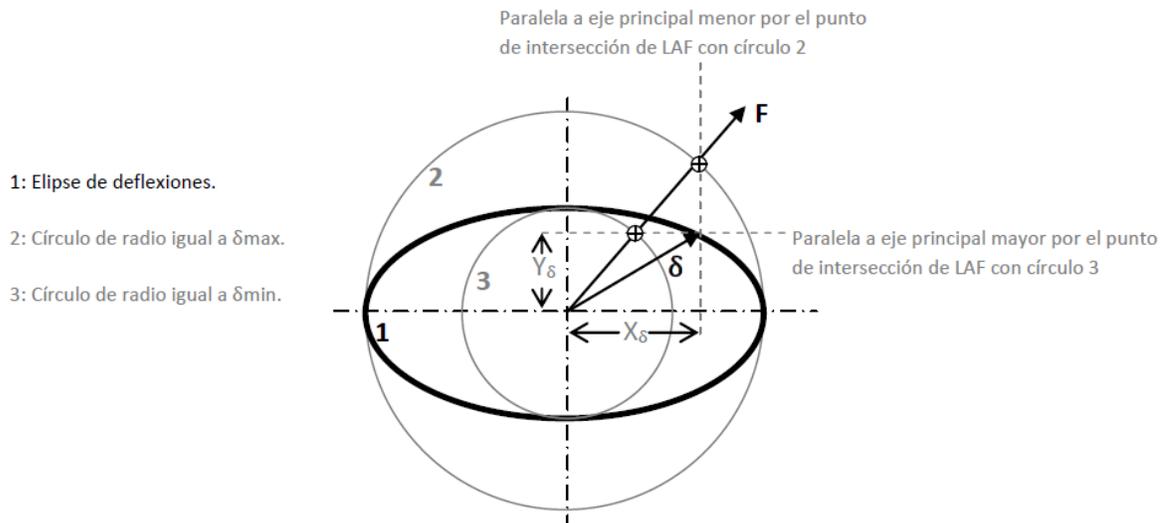


Figura 10.- Ejemplo ilustrativo del **método gráfico de afinidad** para determinar el desplazamiento para cualquier dirección de aplicación de fuerza, mediante el uso de funciones afín. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Parodi. S., Reyes. M. (2012).

2.10. Elipse de Rigidez.

Esta cónica representa el lugar geométrico de la rigidez lateral direccional de la estructura para un nivel particular, tiene unidades [Fuerza/Longitud] que claramente no se puede graficar sobre la planta. Puede obtenerse directamente dividiendo la magnitud de la fuerza cortante horizontal actuante en el CR de la planta en estudio aplicada en la dirección de los ejes principales entre la diferencia vectorial de los desplazamientos totales de la planta en estudio y la planta inferior. A continuación se muestra la determinación de los ejes principales de la elipse de rigidez suponiendo que la elipse de deflexiones tiene la forma y orientación de la **Figura 7**:

$$A'_{11} = F / D'_{11} \quad (2.3)$$

$$A'_{22} = F / D'_{22} \quad (2.4)$$

Donde “F” es fuerza cortante.

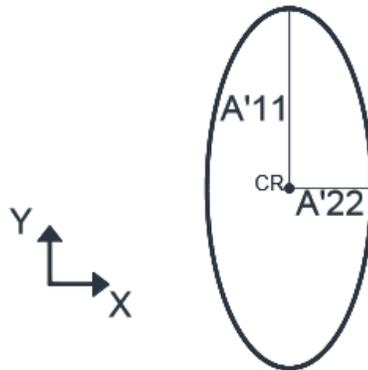


Figura 11.- Representación de la Elipse de Rigidez, denotado sus ejes principales. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

2.11. Elipse de Culmann.

A partir del significado de las elipses de rigidez y de desplazamientos se puede entender el sentido físico de la Elipse de Culmann, la cual representa la elasticidad global horizontal de la estructura. Esta elipse hace una relación entre las rigideces traslacionales y la rigidez torsional de cada planta de la estructura.

La Elipse de Culmann permite determinar mediante *relaciones polo-polar* todos los posibles centros instantáneos de rotación (CIR) que experimenta una planta al aplicar una fuerza excéntrica con respecto al centro de rigidez. Esta elipse se puede dibujar a la misma escala de la planta ya que posee unidades de longitud (al igual que la elipse de deflexiones).

Al determinar la rigidez torsional y la elipse de rigidez, se puede obtener la elipse de Culmann aplicando las siguientes ecuaciones, tomando en cuenta que, la elipse de rigidez supuesta es la **Figura 11**:

$$\rho'_{11} = \sqrt{\frac{Rz}{A'_{22}}} \quad (2.4)$$

$$\rho'_{22} = \sqrt{\frac{Rz}{A'_{11}}} \quad (2.5)$$

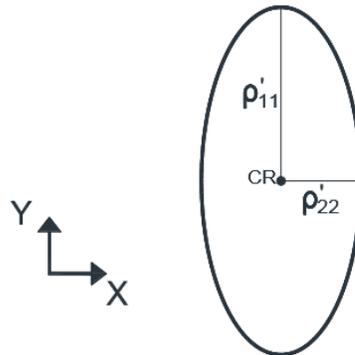


Figura 12.- Representación de la Elipse de Culmann, denotado sus ejes principales. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

2.12. Relaciones Polo-Polar de la Elipse de Culmann.

La relación polo-polar de una cónica no es más que una correlación entre puntos y rectas. Esta relación nos permite conocer los centros instantáneos de rotación (Anti-Polo) de una planta al aplicar una fuerza (Polar). Todo polo tiene un anti-polo los cuales son simétricos con respecto al centro de la cónica (Centro de rigidez).

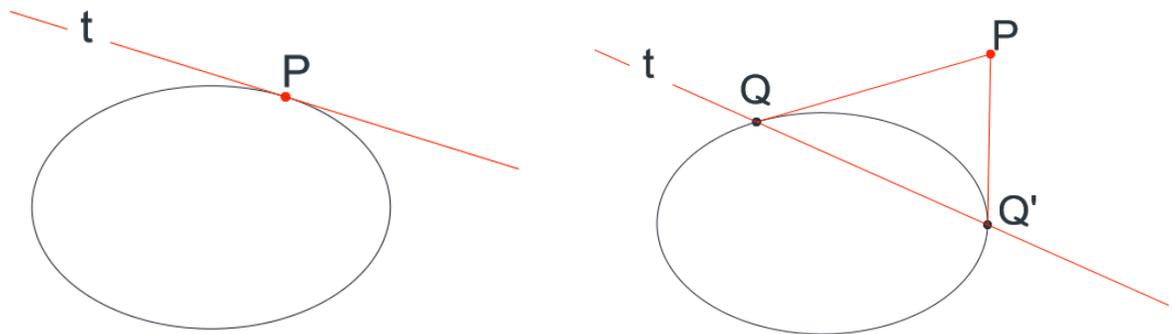


Figura 13.- Recta Polar (t) de un punto P sobre la Elipse o Fuera de ella. Imágenes extraídas del TEG UCAB, Paz. O., Peña O. (2011).

En la **Figura 13** del lado izquierdo muestra que la polar de un punto perteneciente a la cónica es igual a la tangente que pasa por dicho punto, mientras que la figura del lado derecho muestra la recta polar de un punto P externo a la cónica, para este caso se deben trazar tangentes a la elipse que pasen por el punto P y unir los puntos de tangencia.

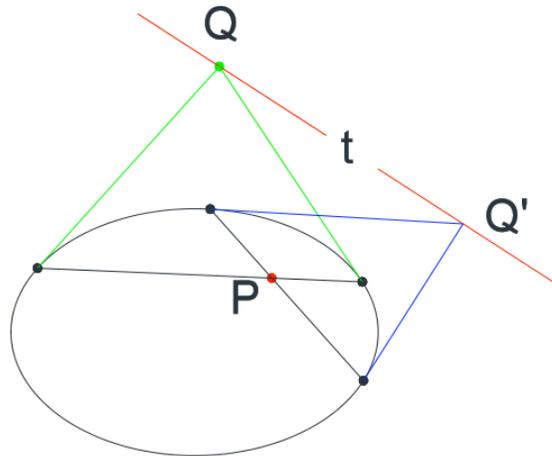


Figura 14.- Recta Polar (t) de un punto P interno a la elipse. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Paz. O., Peña O. (2011).

La **Figura 14** muestra que para el caso de que el punto P se encuentre dentro de la elipse será necesario trazar dos secantes que pasen por el punto P y luego trazar tangentes a la elipse por los puntos de intersección de las secantes, al trazar tangentes a la elipse estas se intersectan en los puntos Q y Q' , estos dos puntos definen la Recta Polar de P .

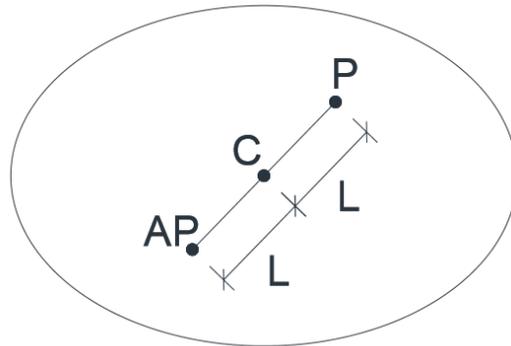


Figura 15.- Relación Polo-Antipolo. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Paz. O., Peña O. (2011).

La **Figura 15** muestra el anti-polo AP del polo P , como se dijo anteriormente este punto AP representa el Centro Instantáneo de Rotación de una planta para una fuerza en la dirección de la Recta Polar del polo P . Esta propiedad se puede utilizar para verificar que se haya calculado correctamente la Elipse de Culmann.

Se ha hablado de definiciones puramente geométricas, pero ¿Cómo ayuda esto en el diseño estructural? Hasta ahora podemos considerar como ciertas las siguientes afirmaciones:

- El Centro de Rigidez es una invariante de cada diafragma que compone el sistema estructural.
- Toda estructura en todos sus niveles posee dos direcciones principales cuya orientación es determinable sin importar su configuración.
- Las direcciones de los ejes principales de la Elipse de Culmann dependen de la configuración del sistema estructural (Rigideces Traslacionales y Rigidez Torsional).
- Existe un centro de masa en cada nivel al cual asumir como el punto de acción de la fuerza sísmica.

Considerando las afirmaciones anteriores se estudia cómo se afecta un pórtico ante la aplicación de una fuerza excéntrica con respecto al centro de rigidez.

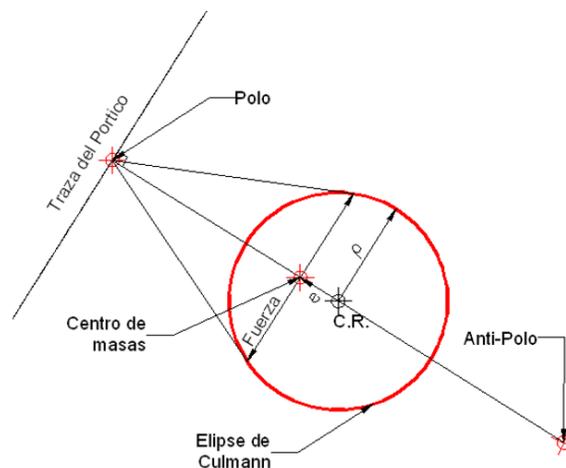


Figura 16.- Aplicación de la Elipse de Culmann como herramienta de Análisis Estructural. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Gonzales. M., Paredes., F. (2013).

Para evaluar el pórtico debemos trazar una perpendicular a la traza del mismo que pase por el centro de rigidez. El punto de intersección entre las rectas será el polo, y el opuesto será el anti-polo, que determinará el centro instantáneo de rotación para una fuerza en la dirección

de la recta polar, como podemos observar en la **Figura 16**, esta fuerza tiene una excentricidad (e) con respecto al C.R.

2.13. Factor de amplificación de Torsional (FAT).

Es el cociente entre el efecto de flexotorsión y el efecto de traslación pura generado en los elementos estructurales del sistema. Definir un FAT permite cuantificar el efecto que causa la flexotorsión del sistema en los elementos estructurales (vigas y columnas principalmente), determinando en qué proporción este efecto (ocasionado por carga sísmica excéntrica) es mayor al efecto de traslación pura (carga sísmica actuante en el C.R.). Este número será mayor a uno cuando hay flexotorsión e igual a uno para efectos de flexión.

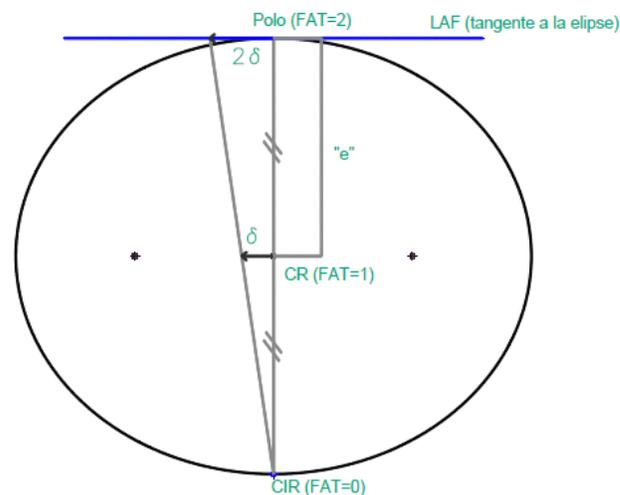


Figura 17.- Factor de amplificación torsional de los desplazamientos asociados a la Elipse de Culmann. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi. S., Reyes. M. (2012).

Nótese que:

Al aplicar una fuerza tangente a la elipse de Culmann, el FAT del punto de tangencia será igual a 2, es decir, las líneas de acción de fuerza (LAF) tangentes a cualquier punto de la elipse tienen una excentricidad tal que, el desplazamiento total del punto bajo flexotorsión será el doble del desplazamiento de traslación pura producto de la misma LAF; por lo tanto, esta

elipse además de relacionar cualquier LAF con su CIR correspondiente (en un diafragma rígido) también puede generar LAF cuyas excentricidades al CR producen FAT = 2 en los puntos contenidos o no en la elipse gracias a las relaciones polo – polar señaladas anteriormente.

Demostración del FAT = 2 implícito en la elipse de Culmann:

Partiendo de:

$$\text{Deformación por torsión } (\delta_\tau): \begin{cases} \delta_\tau = r * d\theta \\ R_z = \frac{M}{\theta} = \frac{F * e}{\theta} \rightarrow \theta = \frac{F * e}{R_z} \rightarrow \delta_\tau = e * \left(\frac{F * e}{R_z} \right) \end{cases}$$

$$\text{Deformación por traslación } (\delta x): R_x = \frac{F}{\delta x} \rightarrow \delta x = \frac{F}{R_x}$$

Donde:

e : Excentricidad.

θ : Rotación del diafragma rígido a causa del momento torsor de la planta.

R_z : Rigidez torsional.

R_x : Rigidez traslacional.

F : Carga Sísmica.

Se tiene que:

$$\delta x + \delta_\tau = 2 * \delta x$$

$$\frac{F * e}{R_z} * e + \frac{F}{R_x} = 2 * \frac{F}{R_x}$$

Al despejar la excentricidad:

$$e = \sqrt{\frac{R_z}{R_x}}$$

Como se puede observar, la raíz del cociente entre la rigidez torsional y traslacional corresponde a los ejes principales de la elipse de Culmann como se explicó anteriormente (ecuaciones 2.4 y 2.5), demostrando que los puntos de esta elipse representan la excentricidad que debe tener la carga para que se produzca un $FAT = 2$.

2.14. Núcleo Central de Torsión (NCT).

(TEG UCAB. Paz., O., Peña., O. 2011).

El Núcleo Central de Torsión define las excentricidades máximas de las fuerzas horizontales en un diafragma rígido para que no se genere un factor de amplificación torsional determinado en los elementos perimetrales de la estructura, donde la forma de obtener el NCT es a partir de la elipse de Culmann y sus polaridades. A continuación se muestra un procedimiento para determinar dicho núcleo.

Si se tiene una configuración estructural cualquiera y la elipse de Culmann, se pueden obtener el núcleo central de torsión de la siguiente manera:

- Se trazan perpendiculares por el centro de rigidez a todos los elementos estructurales (pórticos, muros o a sus trazas).
- Se buscan los puntos de corte de las perpendiculares con las trazas de los pórticos.
- Por estas intersecciones se trazan tangentes a la elipse.
- Se unen los puntos de tangencia para obtener una recta secante.
- Esta recta secante define la excentricidad máxima que genera un $FAT= 2$ para un pórtico específico.

En la siguiente figura se encuentran las perpendiculares trazadas por el centro de rigidez de color verde. Los puntos de corte de las perpendiculares en negro. Las tangentes en azules claro. Las rectas secantes de color rojo y el núcleo central de torsión (a partir de la intersección de las secantes) son rectas rojas gruesas que indican el NCT para factores de amplificaciones torsional iguales a 2.

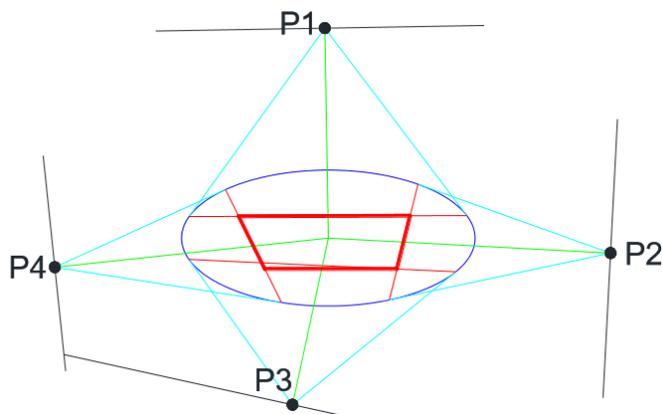


Figura 18.- Núcleo Central de Torsión (NCT) obtenido a partir de relaciones polo-polar en la Elipse de Culmann. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Paz., O., Peña., O. (2011).

Cabe destacar, que los pórticos en estudio pueden estar fuera de la elipse de Culmann como se muestra en la figura anterior o dentro de ella, por lo que es necesario un uso adecuado de las relaciones polo – polar de la elipse explicadas anteriormente.

Es importante saber que si se hacen interpolaciones lineales entre el $FAT = 2$ y el centro de rigidez se puede obtener fácilmente otras curvas asociadas a otros factores de amplificación torsional. También, se pueden extrapolar hacia afuera de la elipse, utilizando “elipses amplificadas”, resultando entonces algo parecido a un plano topográfico con “curvas de nivel”.

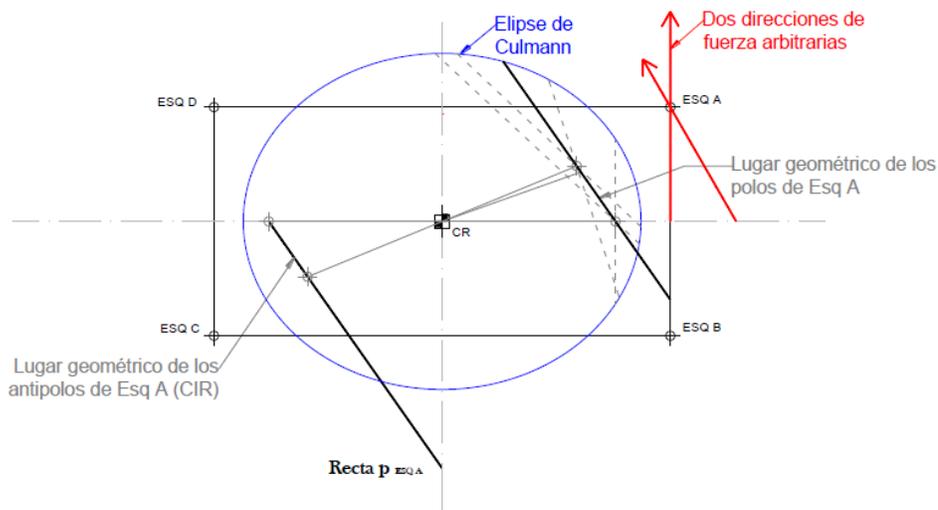
Observando lo dicho en la referencia al TEG de Osdalys Paz y Oscar Peña, mientras mayor sea la elipse de Culmann, mayor será el NCT. En caso que toda el área de la planta se encuentre dentro de la misma, significa que sin importar donde se aplique la fuerza, el FAT siempre será menor a 2 para todos los pórticos.

2.15. Límite de Fuerza Excéntrica (LFE).

(TEG UCAB, Parodi. S., Reyes. M., 2012)

El límite de fuerza excéntrica o LFE es el lugar geométrico límite donde se puede aplicar una fuerza en cualquier dirección con el objeto de garantizar que el CIR este siempre fuera del área de la planta, para evitar que el tope y la base de una columna que une dos plantas se mueva en direcciones diferentes especialmente para el caso en donde la posición de los CM de dos plantas consecutivas conlleva que los CIR se encuentra en el mismo cuadrante en la planta separados una distancia dada, ya sea dentro o fuera del diafragma. A continuación, se muestra una serie de Figuras que explican el procedimiento para encontrar el Límite de Fuerza Excéntrica:

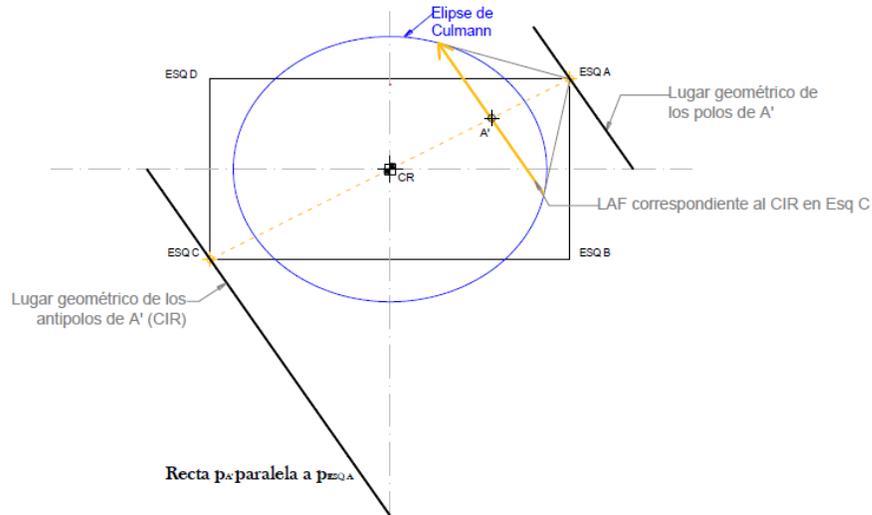
Se halla la recta p correspondiente a la esquina A.



Nota: Como parte de la recta $p_{ESQ A}$ está dentro de la planta, se tiene que limitar la excentricidad de las LAF.

Figura 19.- Conceptualización del Límite de Fuerza Excéntrica (LFE). Paso 1. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi., S., Reyes., M. (2012).

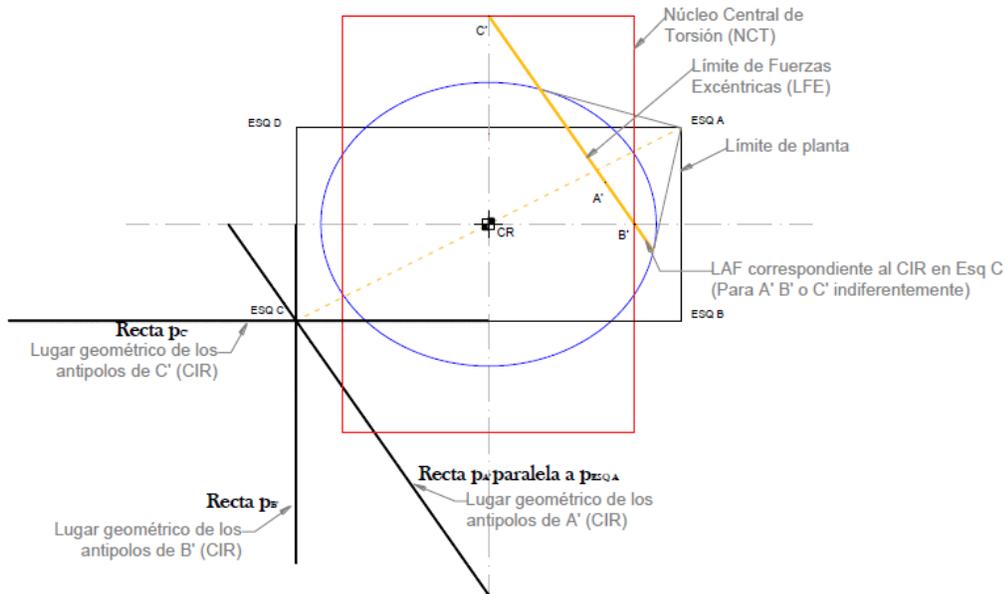
Se limita la recta p para que no corte el área de la planta



La línea amarilla representa el LFE para el primer cuadrante.

Figura 20.- Conceptualización del Límite de Fuerza Excéntrica (LFE). Paso 2. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi., S., Reyes., M. (2012).

Comparación del NCT y el LFE.



Las rectas p_A , p_B y p_C quedan en el borde o fuera de la planta, intersectándose en Esq C.

Figura 21.- Conceptualización del Límite de Fuerza Excéntrica (LFE). Paso 3. Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi., S., Reyes., M. (2012).

Finalmente, el LFE para toda la planta.

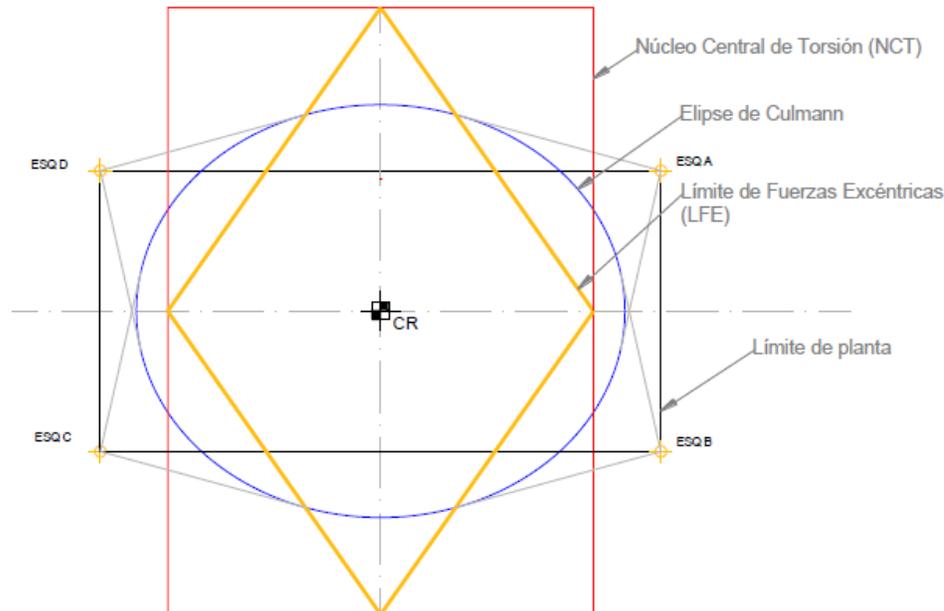


Figura 22.- Conceptualización del Límite de Fuerza Excéntrica (LFE). Imágenes extraídas del TEG UCAB. Parodi., S., Reyes., M. (2012).

Una ventaja del LFE es que es de fácil determinación, basta con tener la Elipse de Culmann para luego definir los Antipolos (CIR) en los puntos de la planta más lejanos al CR (Esquinas) y mediante relaciones polo – polar, se buscan los polos respectivos y se trazan dos tangentes a la Elipse de Culmann. Al unir los puntos de tangencia se obtienen los límites donde al aplicar cualquier dirección de fuerza, el CIR siempre estará fuera de la planta. Otra manera de obtener el LFE, en el caso de tener previamente el Núcleo Central de Torsión, es unir los puntos medios de cada traza del NCT.

Capítulo 3 - Marco Metodológico.

3.1. Tipo de Investigación.

Esta investigación se basa en modelar los efectos flexotorsionales de tres estructuras multiplantares bajo cargas sísmicas excéntricas o no al CR, a través del software de análisis estructural ETABS, de modo que los resultados obtenidos del programa son analizados para determinar patrones o perfiles de respuesta; los cuales a su vez, se comparan con propiedades estructurales que tienen basamentos teóricos definidos en las investigaciones que anteceden a este TEG, referentes a estructuras monoplantares.

3.2. Descripción General.

Con respecto a cada Modelo a estudiar, se excluyen en todas las plantas cualquier tipo de cargas verticales como permanentes, variables, entre otras.

AL no considerar ningún tipo de carga vertical, no es posible seguir el procedimiento del Método Estático Equivalente (MEE) recomendado por la norma sísmica, por ende, las magnitudes de la carga sísmica consideradas en este TEG sólo simulan la distribución (triangular) de las cargas utilizadas en el MEE.

Igualmente es importante destacar que las distintas ubicaciones del eje de masas para cualquier fin específico, se encuentran en el primer cuadrante de los Modelos en estudio, ya que la información obtenida aplica en el resto de los cuadrantes debido a la simetría que existe en cada planta con respecto a los ejes “X” y “Y” de coordenadas.

3.3. Funciones de Respuesta.

En primer lugar para determinar la forma de las funciones de respuesta en los modelos 1 y 2, se aplica en el programa funciones de carga sísmica tipo 1 en dos lugares diferentes de la estructura. Las fuerzas rotantes de la función de carga se modelan en casos separados, obteniendo en cada uno los desplazamientos de los CM de todas las plantas.

Es importante destacar que la función de carga tipo 1 sólo tiene 19 casos de fuerzas rotantes; es decir, las direcciones varían cada 10° comenzando en 0° y terminando en 180° , ya que las restantes se obtienen por simetría, donde sólo hay que tomar en cuenta el cambio de sentido de cada vector de desplazamiento.

Para la obtención de puntos característicos, se realizan procesos iterativos utilizando cargas sísmicas conjugadas del tipo 1. La tolerancia aceptada en el desfase entre la dirección de la carga sísmica conjugada y su desplazamiento es de $\pm 0.01^\circ$.

3.4. Elipses de Culmann.

Para determinar las rigideces traslacionales necesarias (Modelos 1, 2 y 3), se modelan en el programa ETABS dos cargas sísmicas conjugadas tipo 1 aplicadas en los CR de las plantas, y paralelas a los ejes principales de las elipses de desplazamientos de dichos puntos. De esta manera se obtienen los desplazamientos necesarios en cada caso.

Con respecto a las rigideces torsionales, se modela en el programa una función de momentos torsores cuyo eje de aplicación se ubica en los CR, para determinar las rotaciones debido a la torsión que se produce en cada planta.

En los casos de estudio realizados en el Modelo 3, se aplicaron cargas sísmicas tipo 1 y tipo 2, para la determinación de las posibles vulnerabilidades que pueda tener ese sistema estructural.

Tabla 1.- Cargas sísmicas tipo 1, Modelos 1 y 2.

Planta	Altura H_i (m)	F_i (Tonf)
5	5	1000
4	12	800
3	9	600
2	6	400
1	3	200

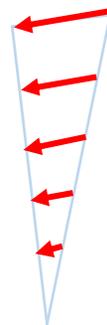


Figura 23.- Carga Sísmica

Tabla 2.- Magnitud de Cargas Sísmicas tipo 1 (a), tipo 2 (b). Modelo 3.

(a)

Planta	Altura H_i (m)	F_i (Tonf)
2	6	400
1	3	200

(b)

Planta	Altura H_i (m)	F_i (Tonf)
2	6	2000
1	3	1000

Tabla 3.- Magnitud de la Función de Momento Torsores en los Modelos 1 y 2 (a), Modelo 3 (b).

(a)

Planta	Altura H_i (m)	M_i (Tonf.m)
5	15	1000
4	12	800
3	9	600
2	6	400
1	3	200

(b)

Planta	Altura H_i (m)	M_i (Tonf.m)
2	6	400
1	3	200

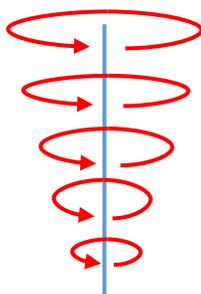


Figura 24.- Función de Momentos

3.5. Modelo 1.

Estructura de 5 niveles con diafragmas idealmente rígidos. Columnas empotradas en su base. Pórticos ortogonales entre sí. Altura de entrepiso: 3 m. El CR de cada nivel coincide con el centro geométrico de cada planta. Vigas paralelas al eje X de: 0,50 m x 0,40 m. Vigas paralelas al eje Y de: 0,40 m x 0,30 m. Sección de columnas: 0,50 m x 0,50 m.

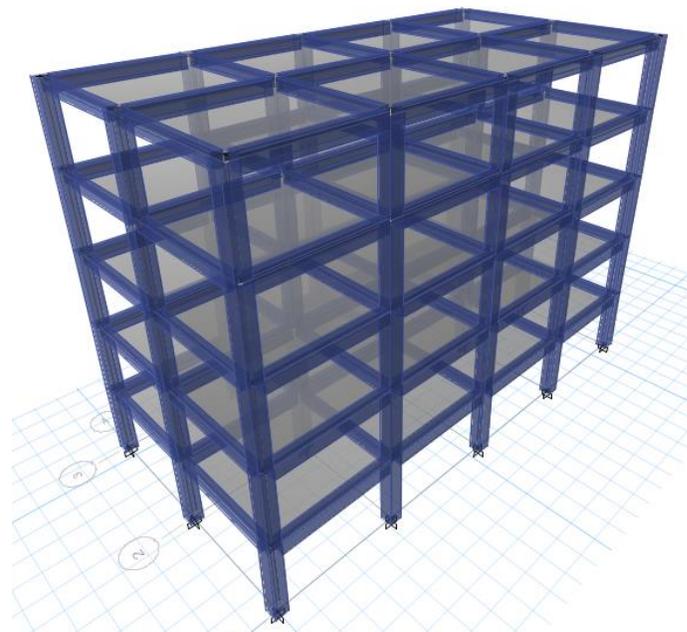
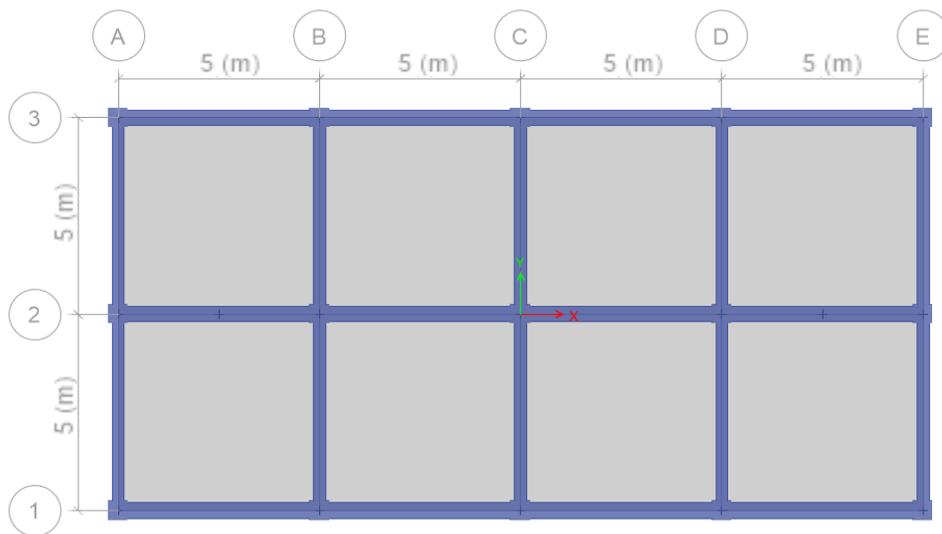


Figura 25.- Vista de Planta y 3D del Modelo 1.

3.6. Modelo 2.

Estructura de 5 niveles con diafragmas idealmente rígidos. Columnas empotradas en su base. Pórticos ortogonales entre sí. Altura de entrepiso: 3 m El CR de cada nivel coincide con el centro geométrico de cada planta. Vigas paralelas al eje X de: 0,50 m x 0,40 m. Vigas paralelas al eje Y de: 0,50 m x 0,40 m. Secciones de columnas: 0,40 m x 0,40 m.

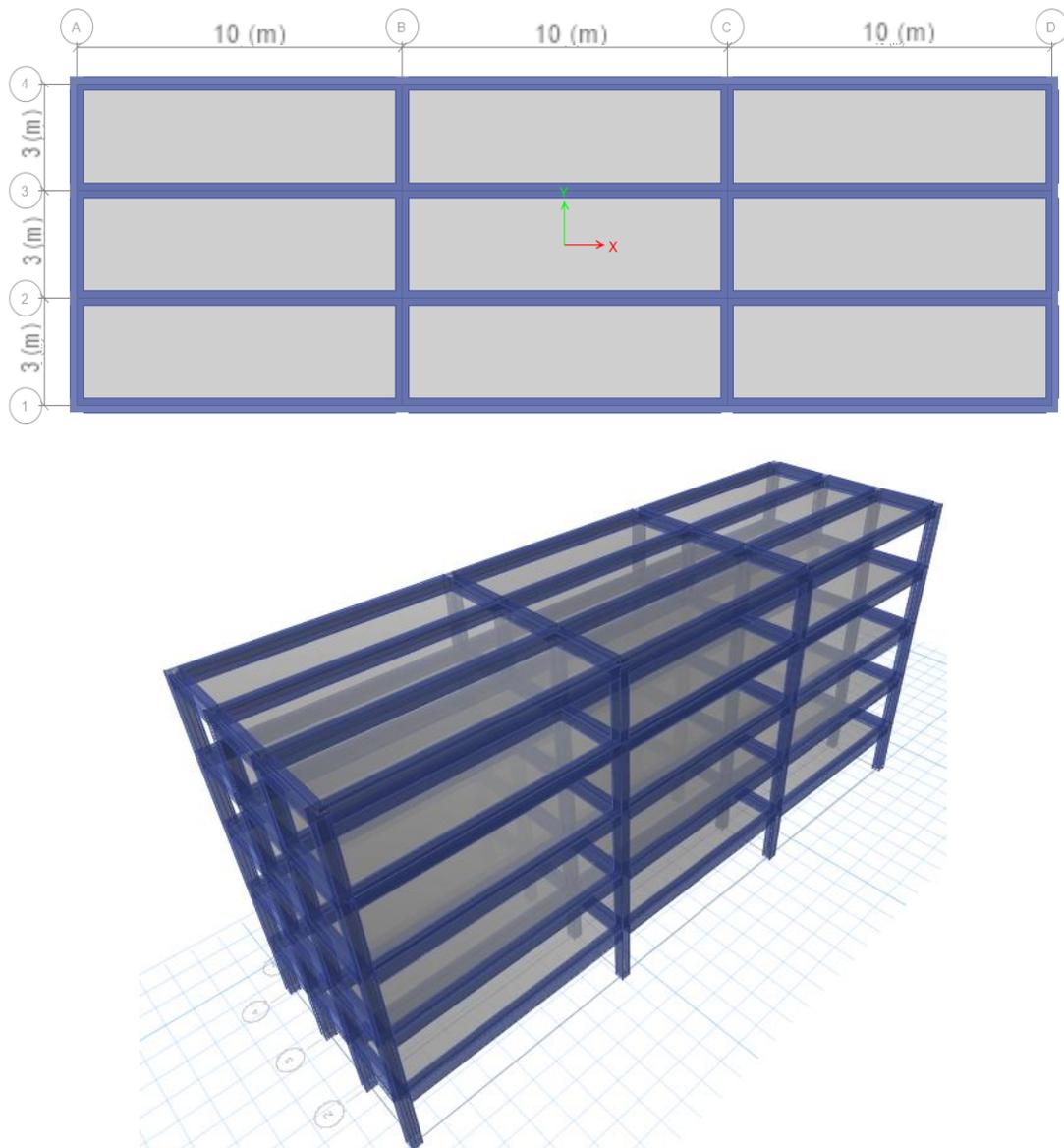


Figura 26.- Vista de Planta y 3D, Modelo 2.

3.7. Modelo 3.

Estructura de 2 niveles con diafragmas idealmente rígidos. Columnas empotradas en su base. Pórticos ortogonales entre sí. Altura de entrepiso: 3 m. El CR de cada nivel coincide con el centro geométrico de cada planta. Vigas paralelas al eje X de: 0,50 m x 0,40 m. Vigas paralelas al eje Y de: 0,40 m x 0,30 m. Secciones de columnas: 0,50 m x 0,50 m.

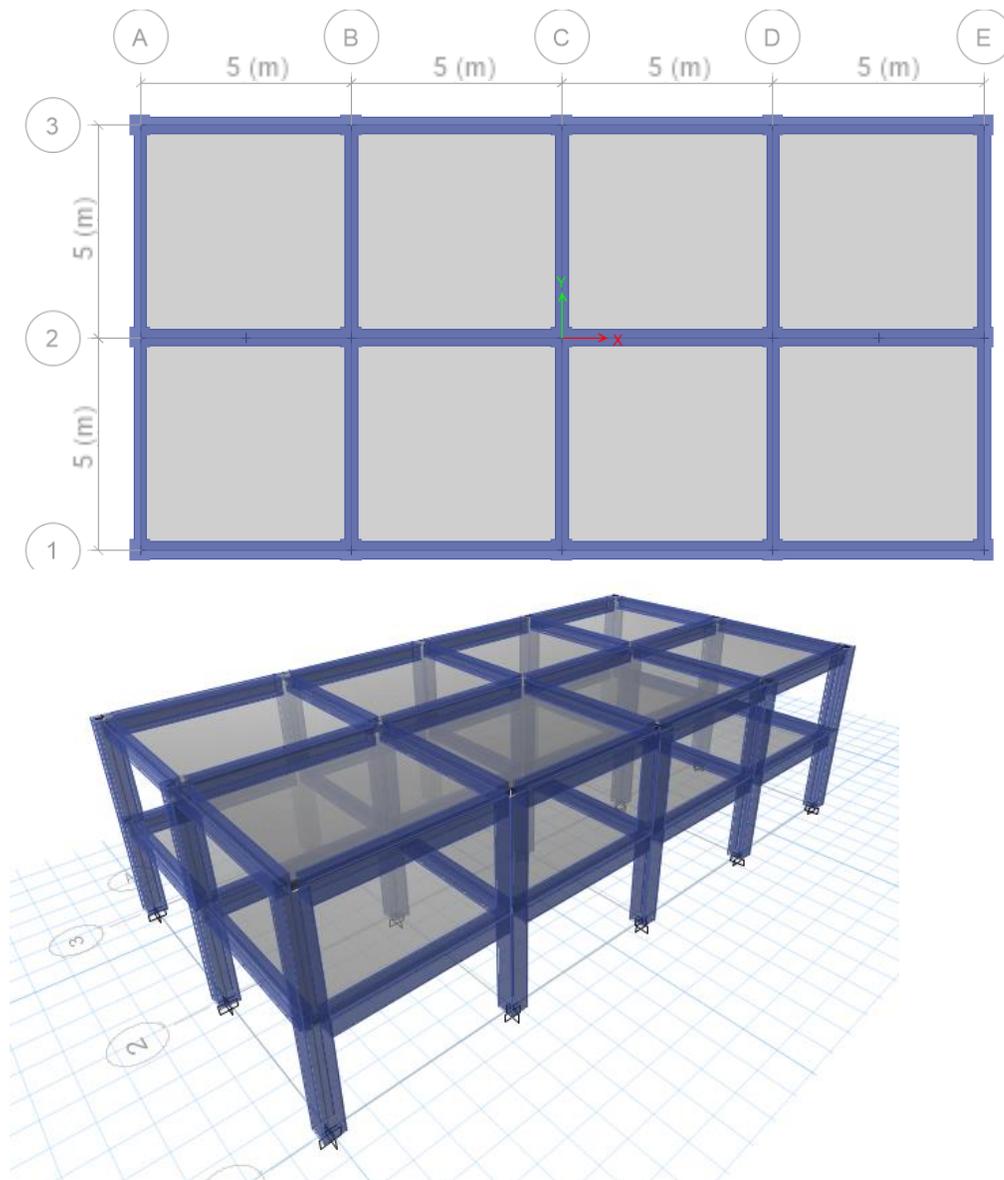


Figura 27.- Vista de Planta y 3D, Modelo 3.

3.8. Nomenclatura.

R_x: Magnitud de la rigidez traslacional de una planta en el eje X

R_y: Magnitud de la rigidez traslacional de una planta en el eje Y.

R_z: Magnitud de la Rigidez Torsional respecto al eje perpendicular al plano de la planta que pasa por el centro de rigidez.

CR_{Pi}: Centro de Rigidez de una planta dada.

CIR_{Pi}: Centro instantáneo de Rotación.

LAF: Línea de Acción de Fuerza.

L₀, L₁₀, L₂₀, L₃₀,...: Líneas radiales que parten desde el CR a 0°, 10°, 20°, 30°,... respectivamente en sentido ante-horario desde el eje X⁺.

F₀, F₁₀, F₂₀, F₃₀,...: Fuerza Sísmica aplicada en distintos puntos de la estructura a 0°, 10°, 20°, 30°... respectivamente en sentido ante-horario desde el eje X⁺.

A, B, C...: Puntos sobre las radiales donde los ejes principales de la elipse de deflexiones del punto están girados 10°, 20°, 30°,... respecto a los ejes principales de traslación de la estructura (ejes principales del CR). Las coordenadas de estos puntos tienen su origen en el CR de cada planta.

δ: Desplazamiento en milímetros (mm) de un punto en estudio.

Θ: Rotación propia de una planta en estudio (en radianes).

β: Ángulo de aplicación de la fuerza en grados, medidos en sentido anti-horario respecto al eje X⁺.

γ: Ángulo del desplazamiento de un punto distintos al CR en grados, medidos en sentido anti-horario respecto al eje X⁺.

Capítulo 4 – Desarrollo y Análisis de Resultados.

4.1. Elipses Multiplantares.

Al aplicar una función de carga en una estructura multiplantar, se obtienen todos los posibles desplazamientos de los puntos que están contenidos en el Eje de Masas de esa función, estos desplazamientos corresponden a funciones de respuesta en cada planta de la estructura. Es importante determinar la forma que tienen estas funciones generadas en cada punto del Eje de Masas, así como también las similitudes o diferencias que puedan tener de un nivel a otro, ya que de esa manera se pueden definir patrones de comportamiento que hagan posible identificar vulnerabilidades ante cargas sísmicas.

Para ello se utilizaron los Modelos 1 y 2, en los cuales se aplicaron dos funciones de carga iguales en magnitud pero ubicadas en puntos distintos de la estructura, es decir, una función de carga con un Eje de Masas que coincide con los CR de cada planta (Caso 1) y la otra con un eje excéntrico a este (Caso 2).

4.1.1 Funciones de Respuesta. Modelo 1.

Caso 1: A continuación se muestran los desplazamientos formados en los CR de cada planta al aplicar una función de carga utilizando fuerzas rotantes cada 10° .

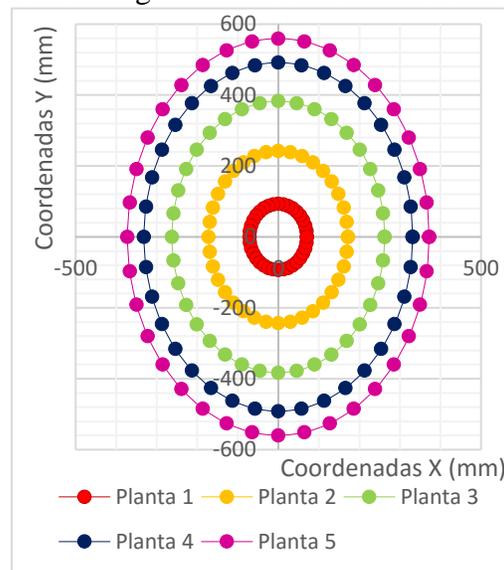


Figura 28.- Funciones de Respuesta de los CR. Modelo 1.

Caso 2: A continuación se muestran los desplazamientos formados en los puntos del Eje de Masas de una función de carga excéntrica a los CR de la estructura. Se utilizaron fuerzas rotantes que varían cada 10° .

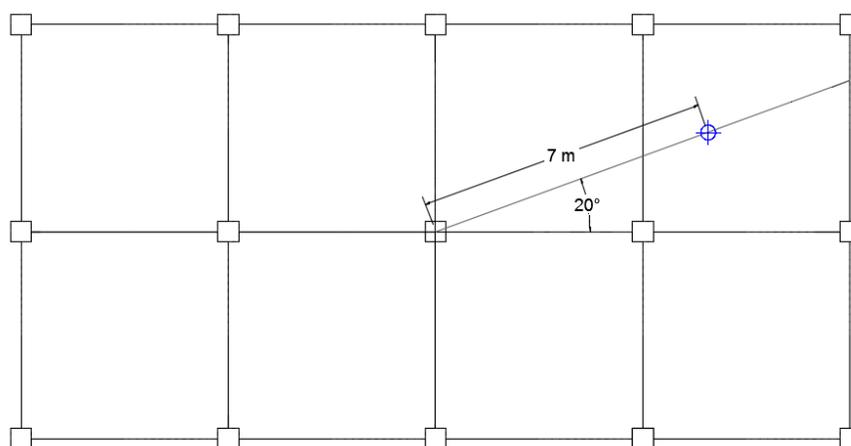


Figura 29.- Ubicación del eje de masas excéntrico, caso 2. Modelo 1.

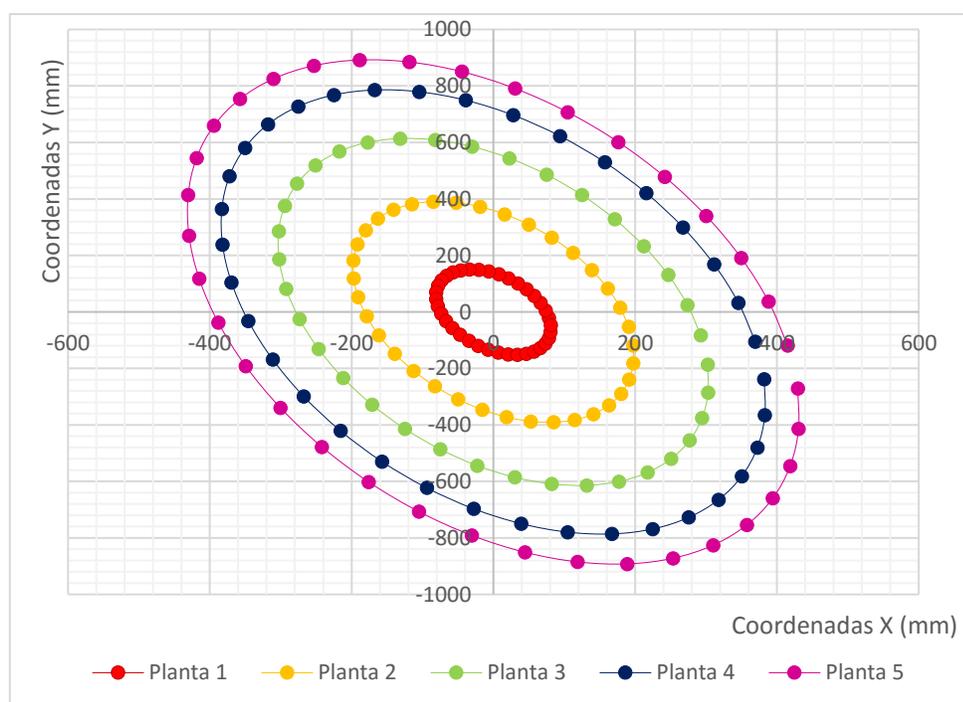


Figura 30.- Funciones de Respuesta de los puntos que coinciden en un Eje de Masas Excéntrico. Modelo 1.

4.1.2. Función de Respuesta. Modelo 2.

Caso 1: A continuación se muestran los desplazamientos formados en los CR de cada planta al aplicar una función de carga utilizando fuerzas rotantes cada 10° .

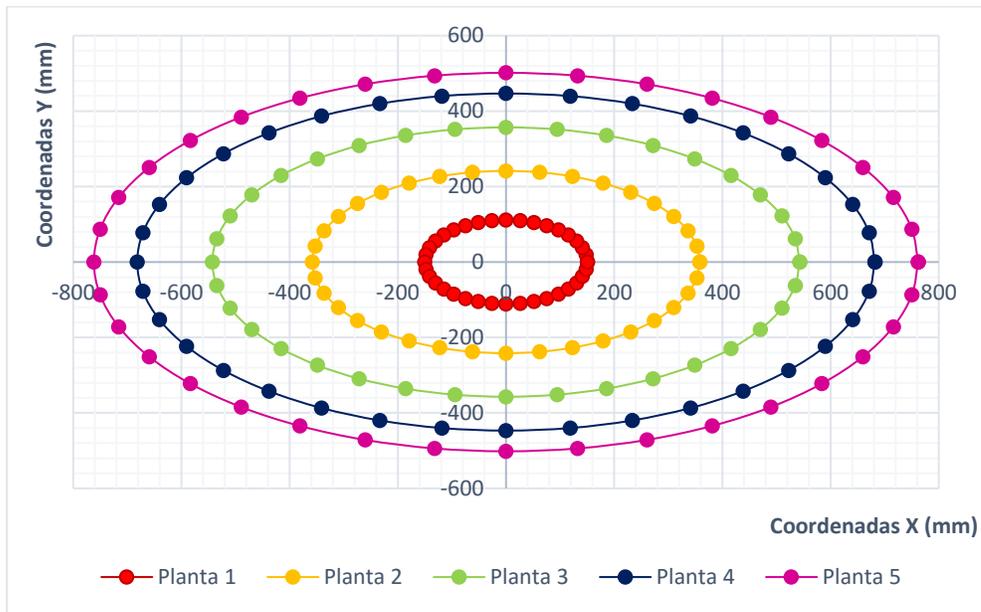


Figura 31.- Funciones de Respuesta de los CR. Modelo 2.

Caso 2: A continuación se muestran los desplazamientos formados en los puntos del Eje de Masas de una función de carga excéntrica al eje de CR de la estructura. Se utilizaron fuerzas rotantes que varían cada 10° .

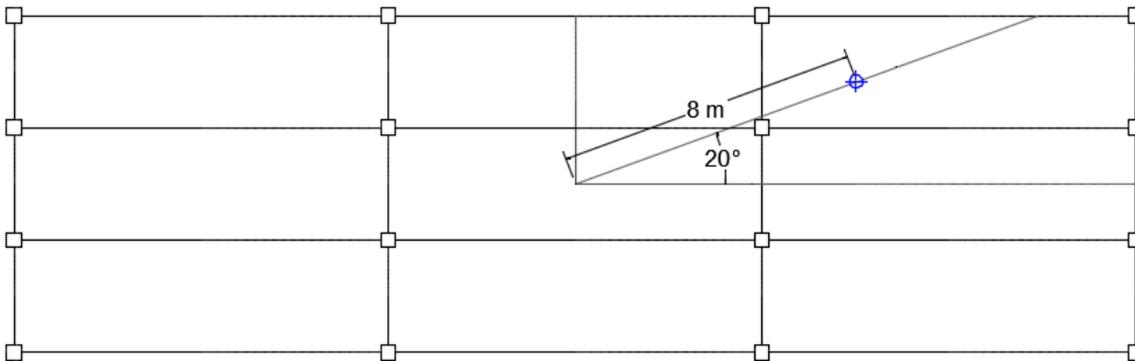


Figura 32.- Ubicación del eje de masas, caso 2. Modelo 2.

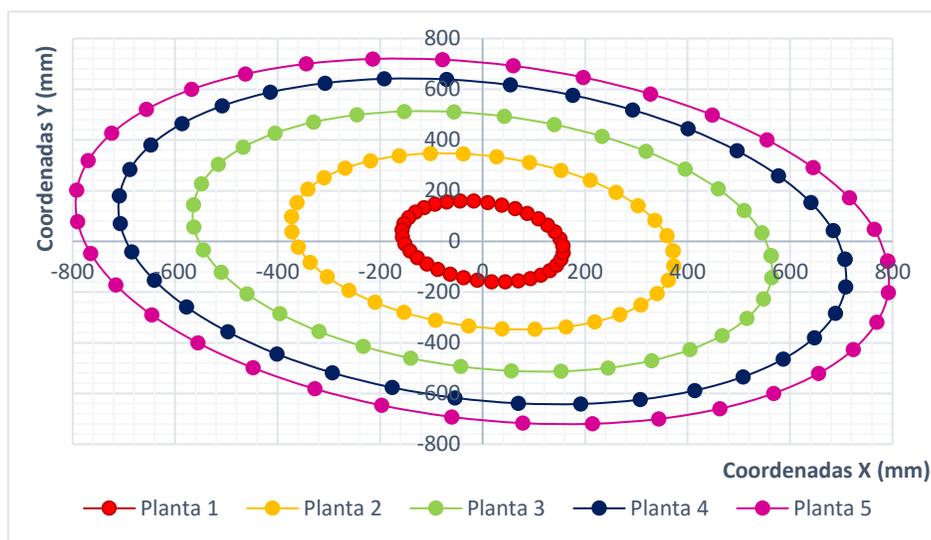


Figura 33.- Funciones de Respuesta de los puntos que coinciden en un Eje de Masas Excéntrico. Modelo 2.

NOTA: En los *Anexos N° 1, N° 2, N° 3 y N° 4*, se encuentran las tablas que corresponden a las *Figuras 28, 30, 31 y 33* respectivamente, donde se muestran toda la información referente a las dos funciones de cargas modeladas en cada estructura, como la magnitud de las fuerzas en ellas, y los desplazamientos generados en cada caso.

4.1.3. Análisis de Funciones de Respuestas Generadas.

Se observó que las Funciones de Carga generan tanto en el Caso 1 como en el Caso 2 elipses de desplazamientos en todos los puntos contenidos en el Eje de Masas.

Las Elipses de Desplazamientos que se forman en el Caso 2 de ambos modelos, presentan una inclinación distinta a las que se forman en el Caso 1, lo que indica que los ejes principales de las elipses generadas en ambos casos para cada planta, difieren bajo cierto ángulo, condición que es muy similar al comportamiento de una estructura monopltar¹.

El tamaño de las elipses de desplazamientos va cambiando de planta a planta, lo cual es muy lógico ya que cada planta se mueve no solo por el desplazamiento propio de su entrepiso

¹ TEG (UCAB). Parodi, S., Reyes, M. (2012).

sino también por el acumulado en los niveles inferiores, siendo la mayor elipse la de la planta 5 ya que esta acumula los desplazamientos de las 4 inferiores.

4.1.4. Funciones Propias de Respuesta.

Al observar que cada planta tiene los desplazamientos acumulados de niveles inferiores como se mencionó anteriormente, surgió la interrogante de cómo son las funciones de respuesta propias de la planta, es decir, cómo son todos los posibles desplazamientos propios o también llamados “*derivadas*” que se generan en los puntos del Eje de Masas de una función de carga.

Los desplazamientos propios posibles o “*derivadas*” en un punto del Eje de Masas, se les denominó ***Función Propia de Respuesta o Función de Deriva***. Para determinar qué forma tiene dicha función, fue necesario aplicar una función de carga con fuerzas rotantes cada 10° en un punto externo a los CR, luego se restó vectorialmente en cada caso de fuerza rotante el desplazamiento total del punto de la planta en estudio y el desplazamiento total del punto en la planta inferior, obteniéndose un vector de deriva para cada caso.

La posición del eje de masas de la función de carga, fue el mismo de la **Figura 30**. A continuación se presenta la **Figura 34** donde se puede apreciar la función propia de respuesta generada, cuya planta en estudio corresponde al nivel 2 del Modelo 1.

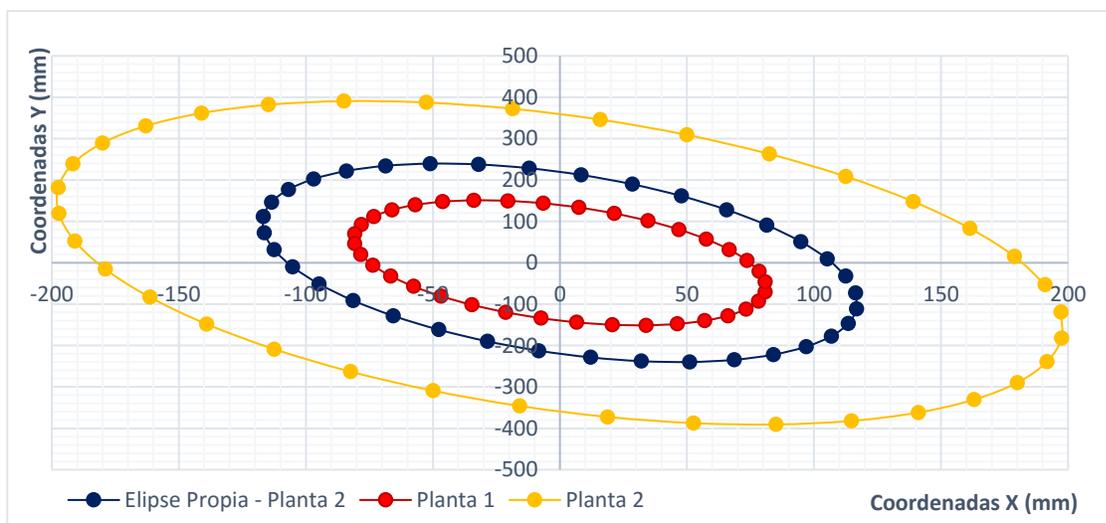


Figura 34.- Elipse propia de la planta 2 de un punto externo. Modelo 1.

En cuanto al Modelo 2, la ubicación del eje de masas de la función de carga, fue el mismo de la **Figura 33**. A continuación se presenta la **Figura 35** donde se puede apreciar la función propia de respuesta generada en la planta 2.

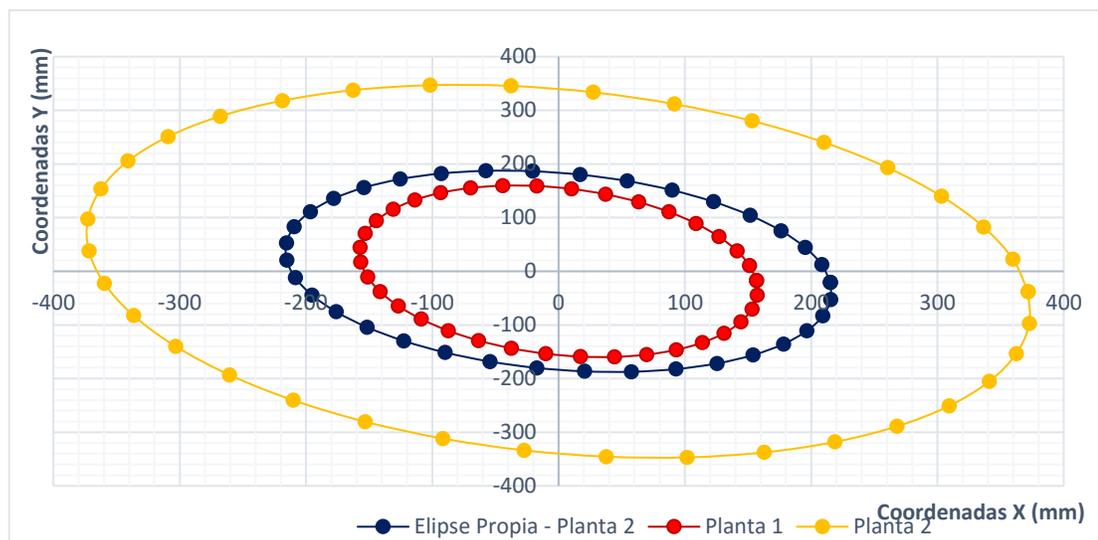


Figura 35.- Elipse propia de la planta 2 de un punto externo. Modelo 2.

En los **anexos N°5**, se pueden observar los desplazamientos propios o derivas que corresponden a cada fuerza rotante en ambos modelos.

4.1.5. Análisis de Funciones Propias de Respuesta.

La forma de la función propia de respuesta generada en la planta 2 de ambos modelos corresponde a una elipse, llamada **Elipse Propia** o **Elipse de Derivas**, la cual representa el verdadero comportamiento de los desplazamientos propios del punto del nivel en estudio, igualmente este concepto aplica para cualquier punto del eje de masas en niveles superiores.

4.2. Puntos Característicos.

Como se mencionó anteriormente, las elipses de desplazamientos que se forman en un eje de masas excéntrico, presentaron cierta inclinación en comparación a las elipses que se forman cuando el eje de masas coincide con los CR de la estructura. Para definir como es este cambio

en el comportamiento de las funciones de respuesta a medida en que las funciones de carga se alejan de los CR de la estructura, se realizó una distribución de *Puntos Característicos*.

Un punto característico es un punto que está contenido en el eje de masas de una función de carga excéntrica a los CR, donde los ejes principales de su elipse de desplazamientos tienen cierta inclinación con respecto a los ejes principales de la elipse del CR de su misma planta. Esta inclinación varía cada 10° , es decir, que los ejes de cada punto característico tienen inclinaciones de 10° , 20° , 30° , 40° , ..., n° con respecto a la elipse del CR de su planta, dichas inclinaciones se denotan con las letras A, B, C, D, ... respectivamente.

Es importante acotar que cada punto característico tendrá un subíndice que empieza la letra “c”, junto con otros caracteres que indican la radial (*ver Figura 36 y 37*) y la planta en que se encuentra, como por ejemplo $A_{C20.P1}$, es un punto característico de 10° ubicado en la radial de 20° en la planta 1, mientras que el resto de los puntos de su eje de masas presentan la misma nomenclatura sin letra “c” en el subíndice, como por ejemplo $A_{20.P3}$ es un punto ubicado encima del punto característico $A_{C20.P1}$ en la radial de 20° de la planta 3.

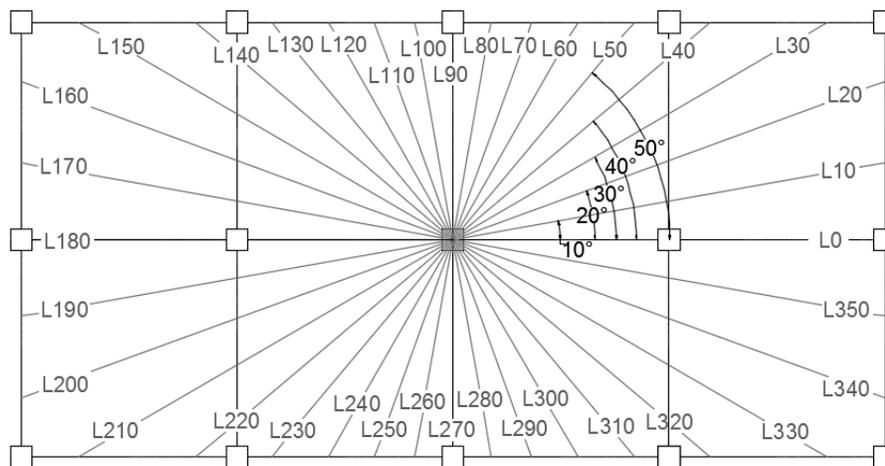


Figura 36.- Determinación de las radiales del modelo 1.

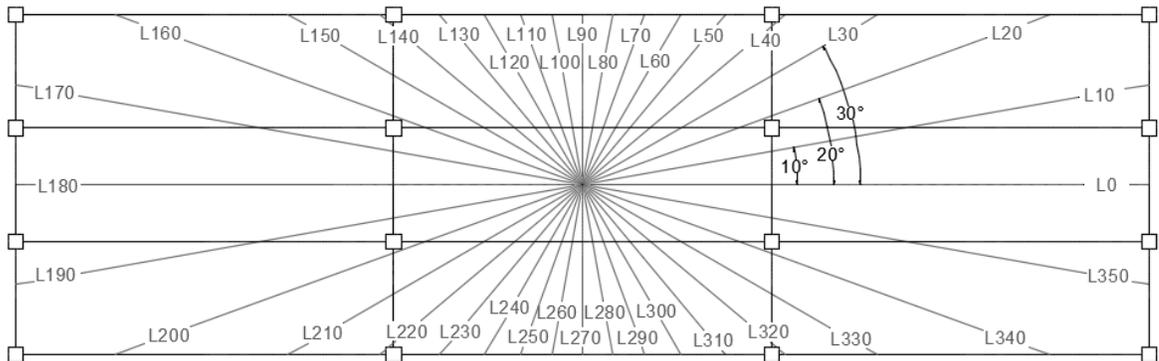


Figura 37.- Determinación de las radiales del modelo 2.

NOTA: Los puntos característicos estarán ubicados sobre radiales que se identifican como “L” junto con un subíndice que indica su grado de inclinación, por ejemplo L_{10} es una radial inclinada 10° con respecto al eje X^+ en sentido antihorario.

Para determinar los puntos característicos se realizó un proceso iterativo, que consiste en aplicar funciones de carga ubicando al eje de masas en distintos puntos de una radial en estudio, hasta encontrar en la planta 1 la elipse que tiene ejes principales de desplazamiento con la inclinación que corresponde al punto característico que se busca.

A partir de los resultados mencionados anteriormente, se determinó que al aplicar una función de carga en cualquier punto de la estructura, se generan elipses de desplazamientos en todos los puntos de su eje de masas. Estas elipses se pueden construir a partir de sus ejes principales, así como también con solo dos desplazamientos arbitrarios y el centro que en este caso es el punto de aplicación de la carga, a través de métodos geométricos como el *Teorema de Chasles*, es decir, no se necesita una función de respuesta completa para determinar cada elipse de desplazamientos.

Los ejes principales de desplazamiento de una elipse tienen la propiedad de coincidir con la dirección de las fuerzas que los generan, por ende, el proceso iterativo se realizó utilizando una función de carga simplificada en dos fuerzas conjugadas con direcciones paralelas a los ejes principales de la elipse del punto característico que se busca, estas fuerzas se aplicaron en varios

puntos de una radial hasta que los desplazamientos del punto de la planta 1 coincidan con las líneas de acción de las fuerzas.

Luego, se definen las elipses de desplazamientos de los puntos característicos, así como también las elipses de los puntos superiores en cada eje de masas, para comparar las direcciones de los ejes principales de desplazamiento del punto de la planta 1 con los ejes principales de las elipses de los puntos superiores.

4.2.1. Puntos Característicos. Modelo 1.

A continuación se muestra en la **Tabla 4**, los desplazamientos del punto característico $A_{C60,P1}$ y de los puntos en las plantas superiores contenidos del eje de masas.

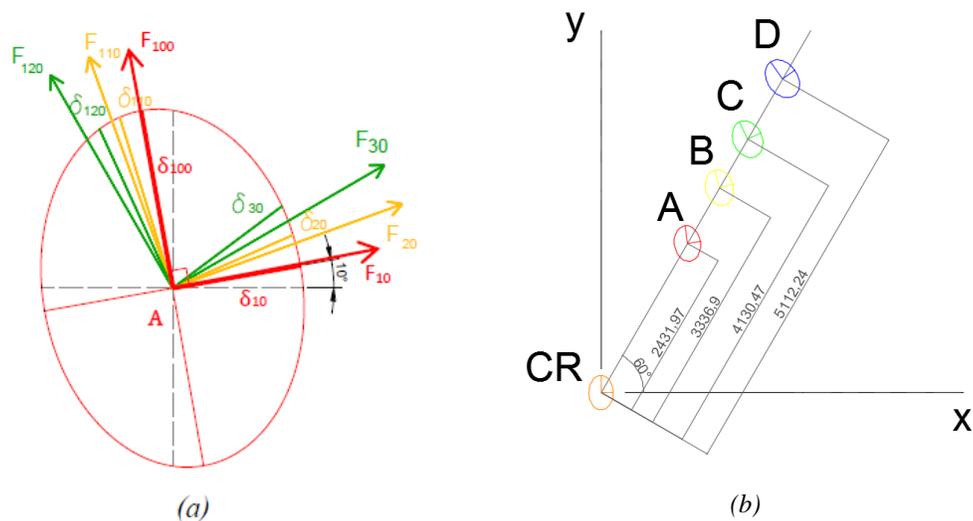
Tabla 4.- Desplazamiento del punto característico $A_{C60,P1}$ y los puntos superiores del Eje de Masas. Modelo 1

Punto Característico " $A_{C60,P1}$ "										
Coord. Polares (2433,98 mm; 60°); Coord. Cartesianas (1216,99 mm ; 2107,8885 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			Γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	74,995	13,223	76,1518	0,1745	9,9995	-16,624	94,273	95,7275	1,7453	100,0007
2	182,31	34,573	185,5592	0,1874	10,7380	-40,852	245,44	248,8205	1,7357	99,4498
3	279,03	54,666	284,3316	0,1935	11,0848	-62,799	387,15	392,2053	1,7316	99,2137
4	352,47	70,269	359,4062	0,1968	11,2748	-79,482	496,81	503,1288	1,7294	99,0894
5	395,9	80,054	403,9097	0,1995	11,4316	-89,405	565,15	572,1781	1,7277	98,9895

γ : Ángulo antihorario entre el eje principal del CR (coincidente con el eje X) y la dirección del desplazamiento.

F_i : Las Carga Sísmica aplicada viene dada por la letra F seguida de un número β el cual representa la dirección en la cual esta aplicada.

Las tablas correspondientes a los demás puntos característicos de las plantas de los modelos 1 y 2 se encuentran en los **anexos N°6 y N°7**, respectivamente. A continuación se muestran los puntos característicos de la radial (L_{60}).



(a) Elipse del Punto A (ejes principales en 10°-100°). (b) Posición respecto al CR para L₆₀ del nivel 2

Figura 38.- Comportamiento entre elipses de Desplazamientos. Modelo 1.

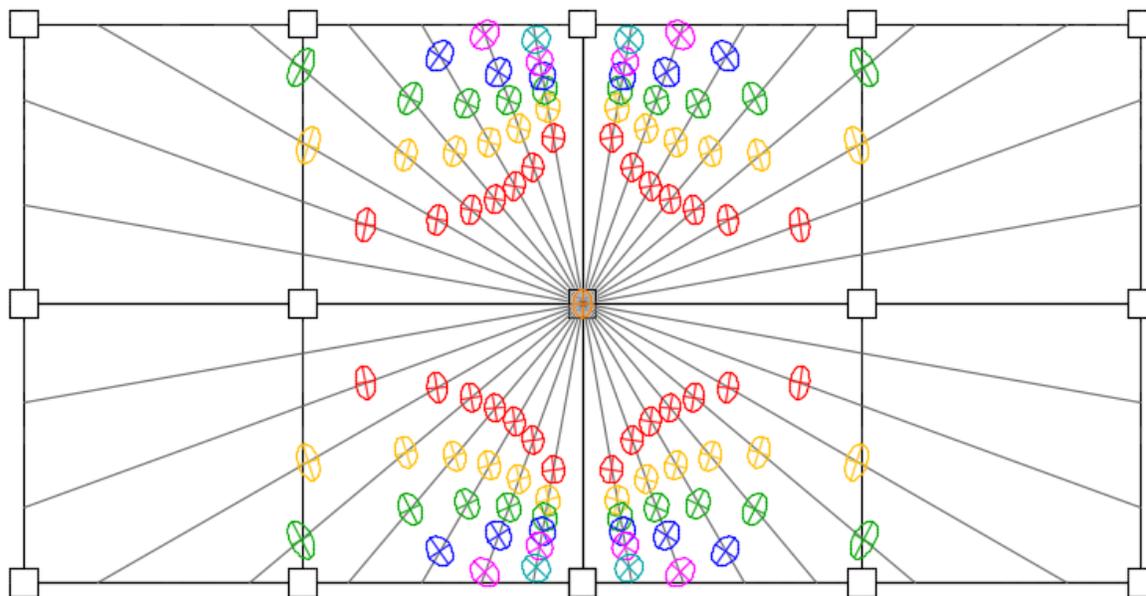


Figura 39.- Distribución de los Puntos Característicos de la planta 1, Modelo 1

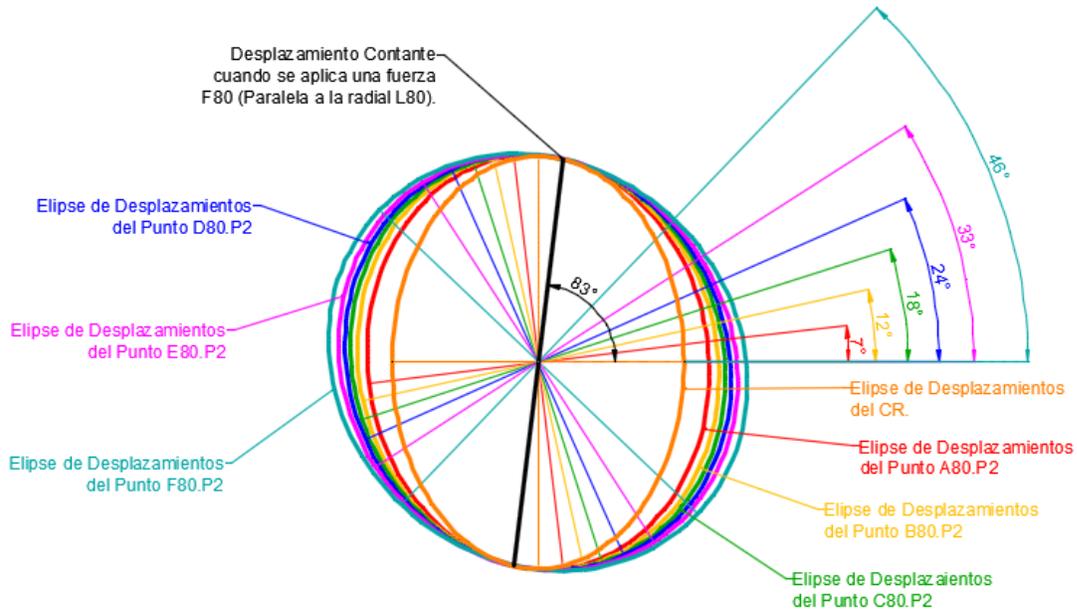


Figura 40.- Superposición de todos los Puntos Notables sobre la radial L₈₀ de la planta 2 del Modelo 1.

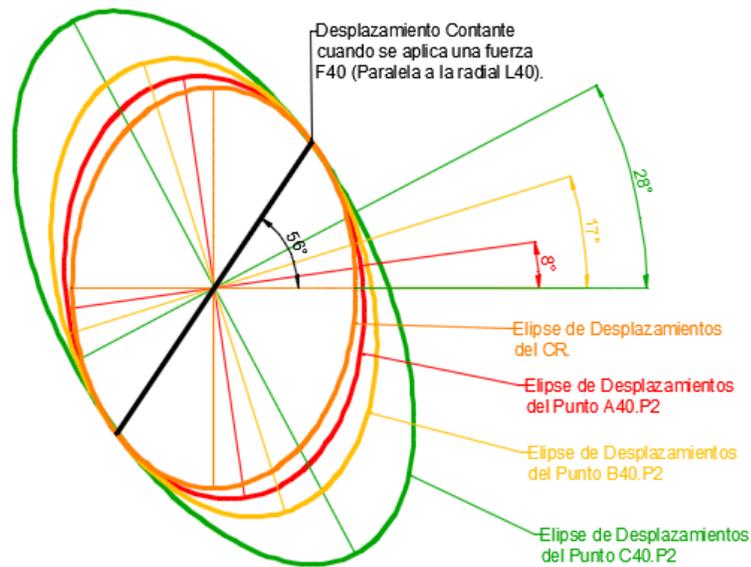


Figura 41.- Superposición de todos los Puntos Notables sobre la radial L₄₀ de la planta 2 del Modelo 1.

4.2.2. Puntos Característicos. Modelo 2

A continuación se muestra en la **Tabla 5**, los desplazamientos del punto $A_{C60.P1}$ y de los puntos en las plantas superiores contenidos del eje de masas.

Tabla 5.- Desplazamiento del punto característico $A_{C60.P1}$ y los puntos superiores del Eje de Masas. Modelo 2

Punto Característico "A"										
Coordenadas Polares (2433,98 mm ; 60°); Coordenadas Cartesianas (1216,99 mm ; 2107,8885 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	164,873	-29,075	167,4170	-0,1746	-10,0012	19,985	113,357	115,1052	0,1745	-99,9986
2	389,442	-63,201	394,5370	-0,1609	-9,2179	48,790	245,688	250,4856	0,1960	-101,2320
3	588,972	-93,428	596,3362	-0,1573	-9,0137	74,437	363,040	370,5926	0,2022	-101,5872
4	739,463	-116,879	748,6429	-0,1568	-8,9818	93,610	454,279	463,8235	0,2032	-101,6436
5	826,546	-131,139	836,8845	-0,1573	-9,0153	104,530	510,001	520,6031	0,2022	-101,5829

γ : Ángulo antihorario entre el eje principal del CR (coincidente con el eje X) y la dirección del desplazamiento.

F_i : Las Carga Sísmica aplicada viene dada por la letra F seguida de un número β el cual representa la dirección en la cual esta aplicada.

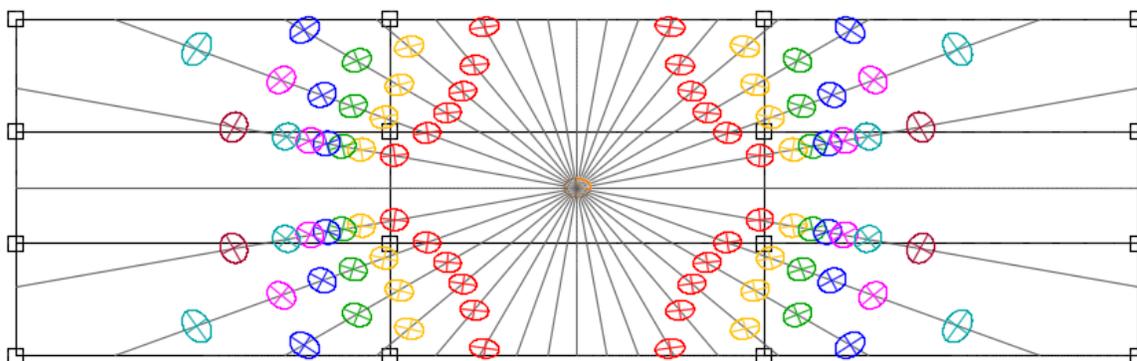


Figura 42.- Distribución de los Puntos Característicos del Modelo 2.

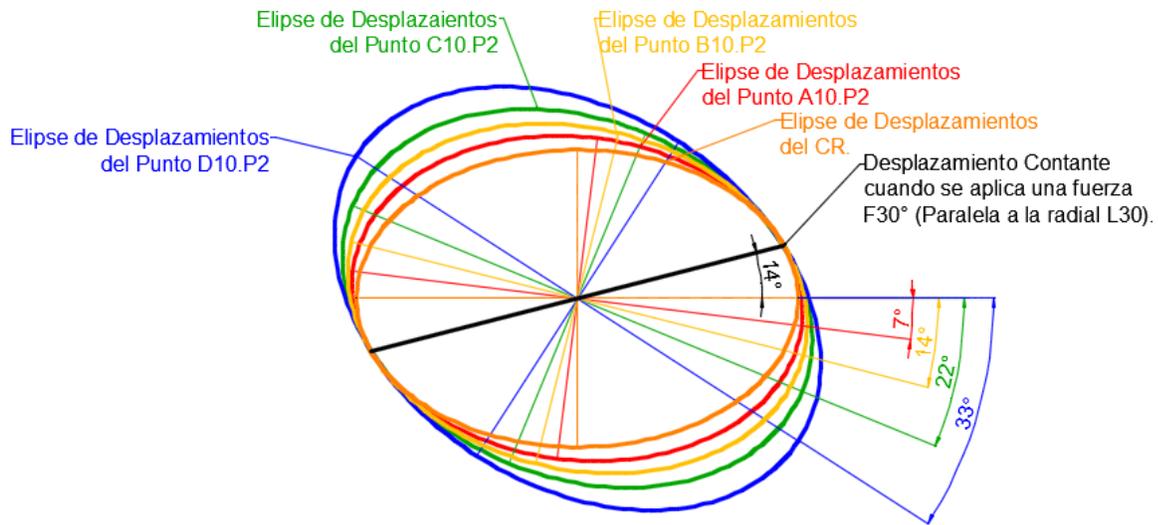


Figura 43.- Superposición de los Puntos Notables sobre la radial L₄₀ de la planta 2, Modelo 2.

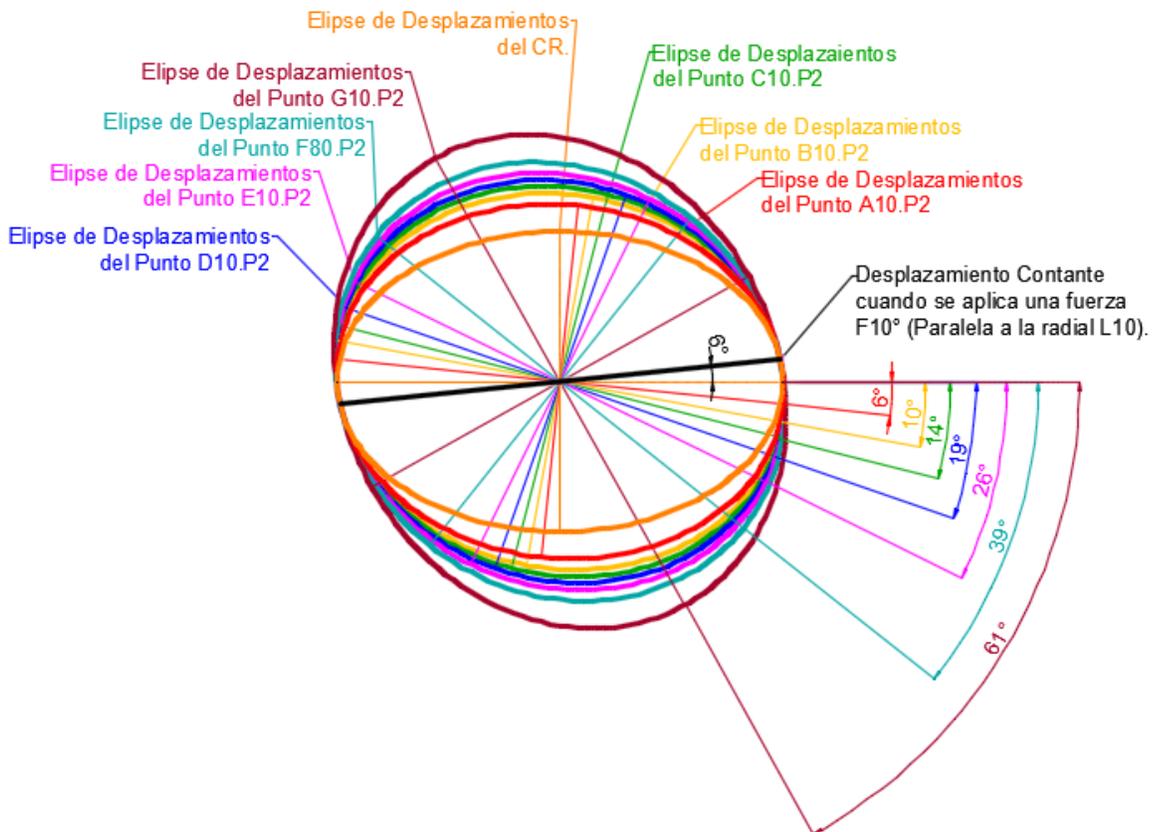


Figura 44.- Superposición de todos los Puntos Notables sobre la radial L₈₀ de la planta 2 del Modelo 1.

4.2.3. Análisis de Puntos Característicos. Modelo 1.

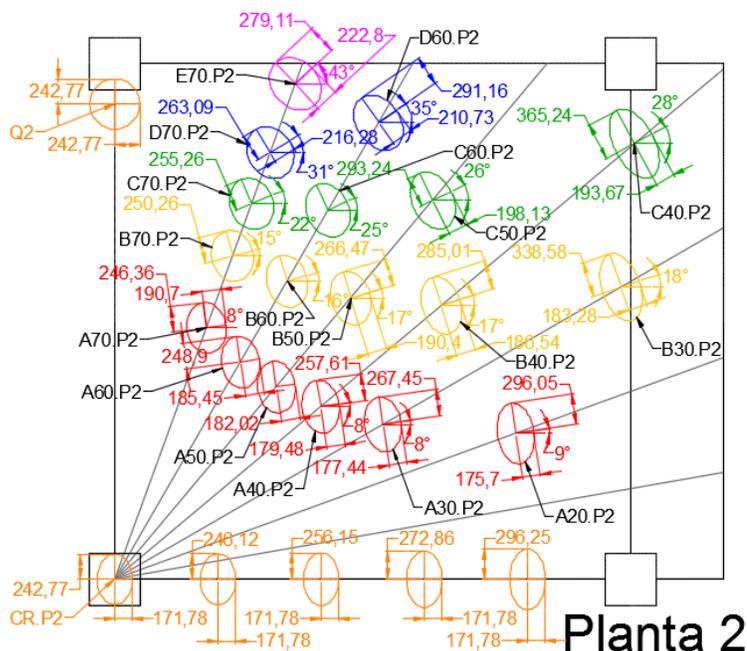


Figura 45.- Distribución de Puntos Notables en la Planta 2 del Modelo 1.

Los puntos característicos mostraron una distribución distinta para cada radial de una misma planta, es decir, no todas las radiales presentan la misma cantidad de puntos característicos (*ver imagen 45*), lo que muestra que en algunas radiales las funciones de respuesta generadas cambiaron muy poco a medida que las funciones de carga se alejan con respecto a los CR, como por ejemplo la radial L₃₀ que presenta solo dos puntos, mientras que en otras radiales, como la radial L₅₀ se observa que hay mayor número de puntos característicos, por ende, en esta radial las funciones de respuesta cambian mucho más.

Otra observación importante es que los ejes de mayor desplazamiento de las elipses de los puntos van rotando hacia la dirección perpendicular a su radial a medida que el punto está más alejado al CR, este patrón se presenta en todos los niveles y además es similar a los comportamientos encontrados en investigaciones anteriores para estructuras monoplantares.

Comparando los Ejes Principales de las Elipses de Desplazamientos en cada planta estudiada, se pudo observar que la diferencia en magnitud entre estos ejes en cada elipse aumenta, volviéndose más achatadas a medida que la radial que contiene al punto está más cercana al eje X^+ .

Las elipses de desplazamiento de los puntos sobre la radial L_0 en todas las plantas poseen ejes principales con direcciones paralelas a las del CR, esto se debe a que si se aplica una fuerza en la dirección a su radial (0°), la LAF pasará por el CR y se producirá un efecto de traslación pura que en este caso específicamente genera al eje de menor desplazamiento en cada punto. Igualmente los puntos en la radial L_{90} tienen esta característica, con la diferencia de que en este caso la dirección de la LAF que produce traslación pura es paralela a dicha radial (90°), generándose un eje de mayor desplazamiento con magnitud constante en cada punto.

Analizando el comportamiento de todas las elipses de desplazamiento sobre una misma radial, se puede decir que a medida que el punto se aleja del CR aumenta la rotación en los ejes principales de las elipses en sentido antihorario con respecto a los ejes de la elipse del CR (*ver Figura 40 y 41*). Esta característica se ve en menor proporción en los pisos superiores, ya que se necesita mayor excentricidad entre la función de carga y el CR para alcanzar una rotación específica en los ejes principales de desplazamiento (*ver Figura 46*), lo que implica que los puntos característicos en las plantas superiores se van alejando cada vez más del CR.

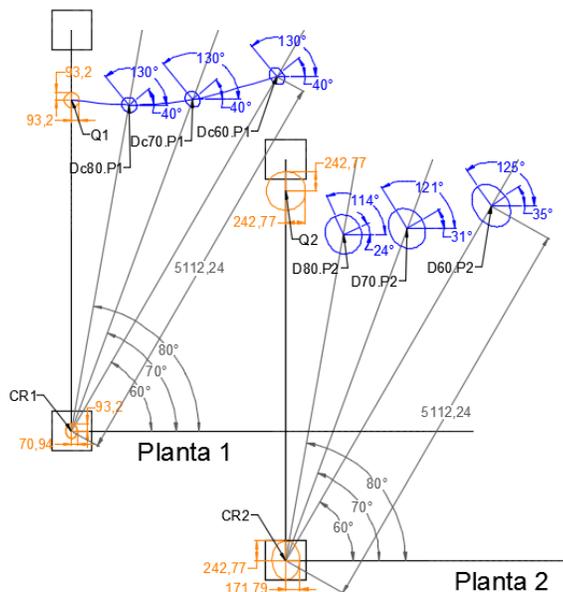


Figura 46.- Comportamiento de los Ejes Principales para los puntos D de piso 1 y 2 del modelo 1 (medidas en mm).

Las elipses de desplazamientos en los puntos de la radial L_0 son cada vez más achatadas a medida que se alejan del CR, esto se debe a que el eje de menor desplazamiento es constante en cada punto de dicha radial (0°) como se mencionó anteriormente, mientras que el eje de mayor de desplazamiento de cada elipse va aumentando a causa de los efectos de la excentricidad. En la radial L_{90} sucede algo similar, donde el eje de mayor desplazamiento permanece constante en todos los puntos, mientras que el eje menor va aumentando a causa de la excentricidad, haciendo que la elipse en este caso se convierta en una circunferencia cuando está lo suficientemente alejada del CR como se observa en la **Figura 47**, cabe destacar que esta circunferencia de desplazamientos es llamada “Punto Q”, el cual se determinó a través de un proceso iterativo, cambiando la ubicación del eje de masas en esa radial hasta encontrar el punto que reúna estas condiciones.

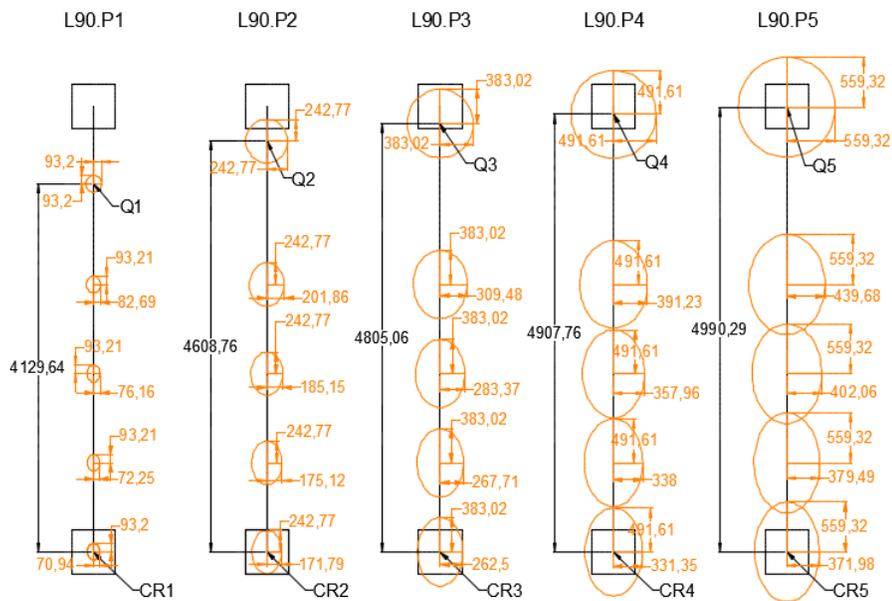


Figura 47.- Comportamiento de los puntos Q y CR en la L₉₀ de todas las plantas del Modelo 1 (medidas en mm).

4.2.4. Análisis de Puntos Característicos. Modelo 2

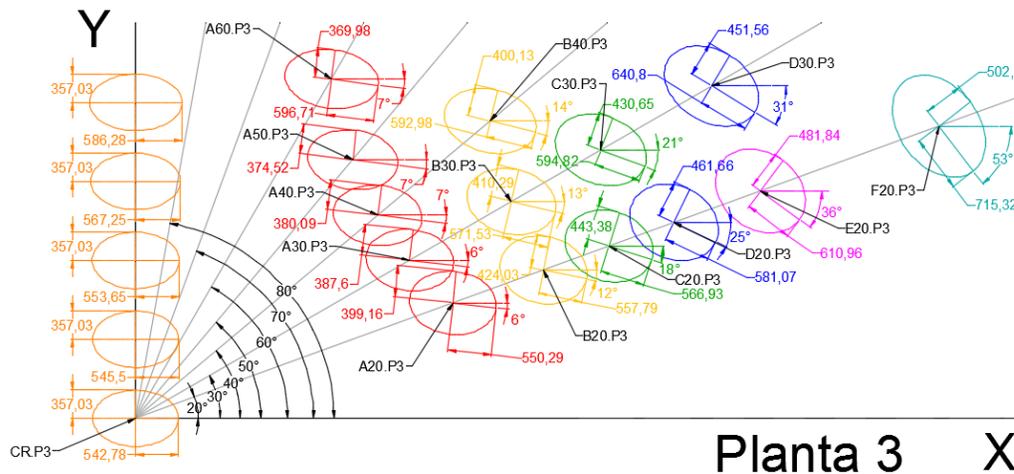


Figura 48.- Comportamiento de los Puntos Característicos del Modelo 2 (Medidas en mm).

Es importante acotar que todas las propiedades descritas en el estudio del Modelo 1 se cumplen para este; adicionalmente, se realizaron comparaciones de dichas propiedades,

haciendo las aclaratorias pertinentes. Como se puede observar en la **Figura 48**, las elipses van rotando en sentido horario a diferencia de las elipses del Modelo 1 que lo hacen sentido antihorario. Esto indica, que las estructuras tienen un comportamiento distinto ante cargas excéntricas, el cual depende de su configuración estructural.

En ambos modelos, se puede observar en la distribución elipses de cada planta que la diferencia de magnitud entre el eje mayor y menor aumenta (se vuelven más achatadas) a medida que estas se alejan de la radial que contiene al Punto Q, el cual en este modelo se encuentra sobre el eje X⁺.

Los puntos que se ubican en las radiales L₉₀ en Modelo 1 y L₀ en el Modelo 2 (ver **Figura 49**) presentan un comportamiento similar, formándose los Puntos Q correspondientes en dichas radiales.

Adicionalmente se pudo observar en la radial L₀ que los Puntos Q tienden a aumentar su distancia al CR a medida que se sube de planta, exceptuando la planta 5 donde esta distancia disminuye un poco en comparación a la planta 4. No se pudo establecer un análisis más completo que haga referencia a este comportamiento del punto Q en la quinta planta, ya que en este caso se necesitan más plantas de manera que se pueda identificar un comportamiento común que dé una respuesta a esta condición.

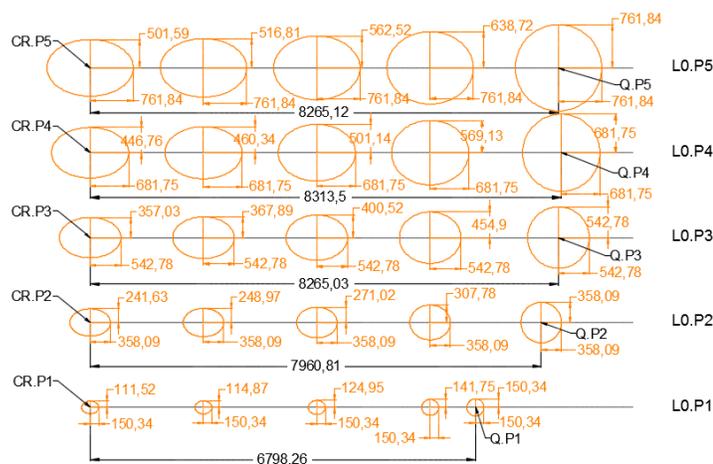


Figura 49.- Comportamiento de los Puntos Q en la L₀ de todas las plantas del Modelo 2 (Medidas en mm).

Analizando las direcciones de los ejes principales de las elipses sobre el eje de masas se pudo observar en la **Figura 50**, que se necesita mayor excentricidad entre la función de carga y el CR en las plantas superiores para que produzcan inclinaciones específicas (por ejemplo 60° - 150° con respecto a la horizontal como en los Puntos F mostrados), por ende, los puntos característicos de dichas plantas se encuentran más alejados. Este comportamiento es común en el Modelo 1, anteriormente explicado.

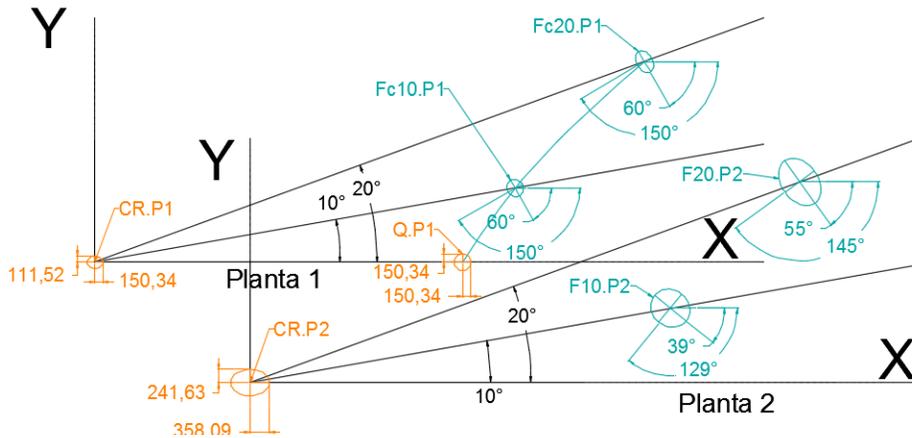


Figura 50.- Comportamiento de los Ejes Principales para los puntos F_{P1} y F_{P2} del Modelo 2 (medidas en mm).

4.3. Descripción del Movimiento del CM ante Efectos de Flexotorsión.

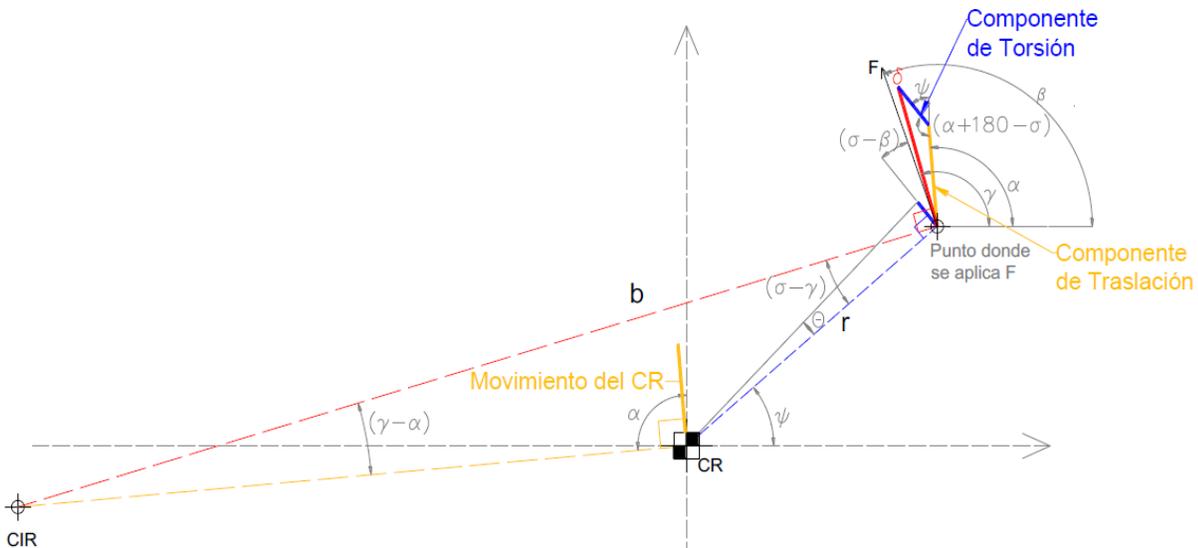


Figura 51.- Descripción del movimiento de los CM excéntricos al CR (Flexotorsión).
 Imagen extraída del TEG (UCAB) Parodi, S., Reyes, M. (2012).

Partiendo del principio de superposición, se pueden obtener las componentes del Desplazamiento Total de un punto (CM) excéntrico al CR cuando se le aplica una fuerza F en cualquier dirección β . Estas componentes serán (*ver Figura 51*): una debido a la torsión (Azul) perpendicular a la radial, denominada *Módulo de Torsión* correspondiente al desplazamiento del punto al aplicar un momento torsor en el CR que se genera por la excentricidad de la fuerza F y otra componente debido a la traslación (amarilla) denominada *Módulo de Traslación* correspondiente al desplazamiento del CR al aplicar la fuerza F en la dirección β en dicho punto. Al realizar una suma vectorial entre el Módulo de Torsión y el Módulo de Traslación se obtiene el Desplazamiento Total del punto.

El CIR (Centro instantáneo de rotación) como se observa en la *Figura 51* se encuentra en la intersección de las líneas perpendiculares al Desplazamiento Total del punto y al desplazamiento del CR (módulo de traslación). Cabe destacar, que cuando la Línea de Acción de Fuerza (LAF) coincide con el CR no existe excentricidad, es decir, la LAF pasa por el CR, y el CIR se encuentra en el infinito siendo este un movimiento de traslación pura, eliminándose la componente del módulo de torsión.

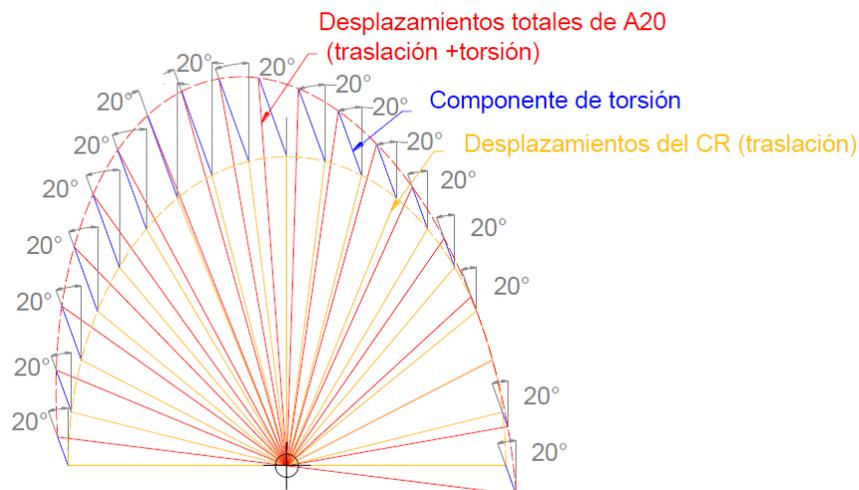


Figura 52.- Comportamiento de las Componentes del Desplazamiento Total del punto A_{20} del Modelo 1.

Una propiedad importante del módulo de torsión es que al variar la dirección de aplicación de la fuerza, se modifica su magnitud pero no su dirección, siendo siempre perpendicular a la radial donde se encuentra el punto de aplicación de la fuerza como se puede observar en la **Figura 52**.

4.3.1. Análisis del movimiento de los CM del Modelo 1.

El comportamiento de los desplazamientos ante cargas excéntricas en todas las plantas del modelo 1 cumple con las propiedades antes mencionadas, a pesar de que los Desplazamientos Totales de los puntos en las plantas superiores cambien en dirección y magnitud, es decir, los desplazamientos totales de los puntos en cualquier planta siempre tendrán una componente de traslación (*módulo de traslación*) la cual aumenta su magnitud y cambia su dirección con la altura, y una componente de torsión (*módulo de torsión*) que no cambia su dirección de planta a planta, pero aumenta su magnitud debido a la rotación propia de la planta y las rotaciones acumuladas de las plantas inferiores.

A partir de las Elipses de Desplazamientos de todos los puntos característicos, se determinaron los Módulos de Traslación en los ejes principales de dichas elipses utilizando el método gráfico de afinidad en el CR, aplicando dos fuerzas conjugadas en el CR paralelas a los ejes principales de la elipse del punto característico, definiendo así, los desplazamiento del CR ante dichas fuerzas (módulos de traslación). Luego se realizó una resta vectorial de forma gráfica entre el Desplazamiento Total del Punto y el Módulo de Traslación para de esta manera determinar el Módulo de Torsión en los Ejes Principales de la Elipse de Desplazamiento, lo mismo se repitió en el resto de las elipses de los puntos de los ejes de masas estudiados en ambos modelos.

4.3.2. Análisis y comportamiento de los Módulos de Torsión del Modelo 1.

Como se puede observar en la **Figura 53** existe un comportamiento común para todas las radiales, donde los módulos de torsión en los ejes principales de cada elipse van aumentando a medida que el punto es más excéntrico al CR. Sin embargo, este aumento de una elipse a otra, no se produce en la misma proporción en cada eje principal, es decir, que en dos elipses de

desplazamientos consecutivos de una misma radial habrá una variación más alta del módulo de torsión en el eje principal mayor, en comparación con la variación que se produce en el eje principal menor.

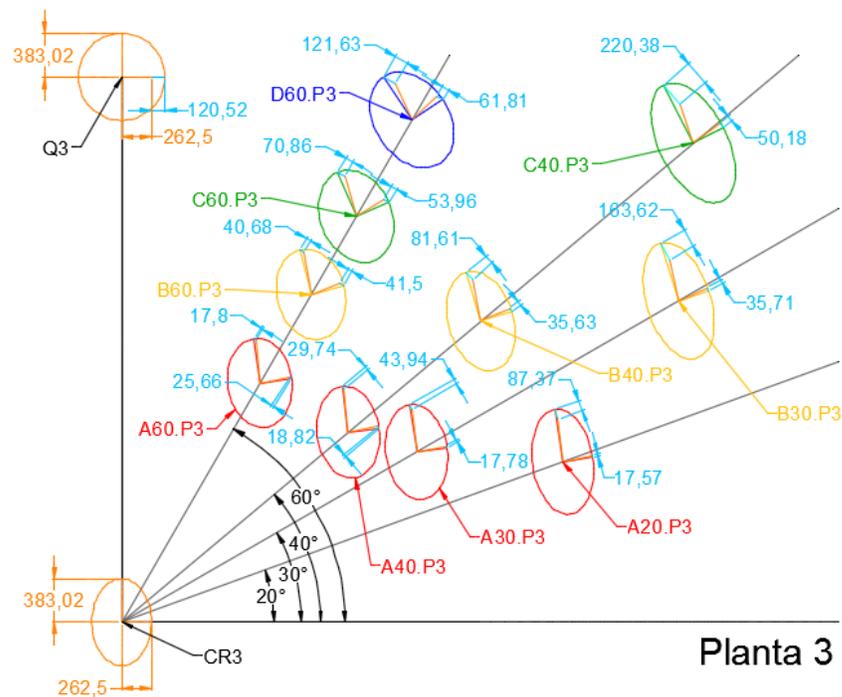


Figura 53.- Comportamiento de los Módulos de Torsión del Modelo 1 en distintas radiales de planta 3 (medidas en mm).

Por otro lado, se puede observar que el mayor módulo de torsión en cada radial se encuentra en el eje principal de mayor desplazamiento, como se puede ver en las radiales L₄₀, L₃₀, L₂₀ de la **Figura 53**, a diferencia de algunos puntos en ciertas radiales como el punto A_{60.P3}, donde el mayor módulo de torsión se encuentra en el eje de menor desplazamiento. Esto indica, como se señaló previamente, que el módulo de torsión del eje mayor aumenta en mayor proporción que el eje de menor desplazamiento a lo largo del segmento entre el punto A ya mencionado y el B de esa radial, de manera que existe un punto donde se igualan las magnitudes de los módulos de torsión en los ejes principales de la elipse de desplazamiento, este punto fue denominado “*punto de equilibrio*”, y se forma entre dos puntos consecutivos de una radial que reúnen las características de los puntos A y B ya mencionados.

Para la determinación de estos puntos, se realizó un proceso iterativo cambiando la ubicación de la función de carga simplificada a dos fuerzas conjugadas a lo largo del segmento que contiene al punto de equilibrio mencionado anteriormente, hasta que se forme una elipse cuyos ejes principales contengan módulos de torsión iguales. En cada punto de iteración se debe construir la elipse de desplazamientos a partir de los dos desplazamientos conjugados, donde luego, se definen los ejes principales a través del método de Chasles, para que finalmente se determinen los módulos de torsión a través del método gráfico de afinidad. Dicho proceso se debe repetir en las radiales de cada planta ya que los puntos de equilibrio no se encuentran sobre una vertical.

Al unir los “Puntos de Equilibrio” de las radiales se obtuvo una Lemniscata de Bernoulli² Vertical en cada planta (*Ver Figura 54*). La lemniscata corresponde al lugar geométrico donde los módulos de torsión en los ejes principales de las elipses de los puntos de equilibrio poseen la misma magnitud.

4.3.3. Descripción de la Lemniscata de Bernoulli del Modelo 1

Comparando los Módulos de Torsión en las *Figuras 55, 56 y 57*, se observa que:

- En la zona de la planta dentro de la Lemniscata de Bernoulli:

$$\frac{\text{Mod } T_F}{\text{Mod } T_D} > 1$$

- Sobre la Lemniscata de Bernoulli:

$$\frac{\text{Mod } T_F}{\text{Mod } T_D} = 1$$

- En la zona de la planta fuera de la Lemniscata de Bernoulli:

$$\frac{\text{Mod } T_F}{\text{Mod } T_D} < 1$$

Donde el $\text{Mod } T_F$ es el Módulo de Torsión en el eje de mayor rigidez (Eje Fuerte) y de forma análoga; el $\text{Mod } T_D$ es el Módulo de Torsión en el eje de menor rigidez (Eje Débil).

² Curva definida en el TEG (UCAB) Parodi, S., Reyes, M. (2012).

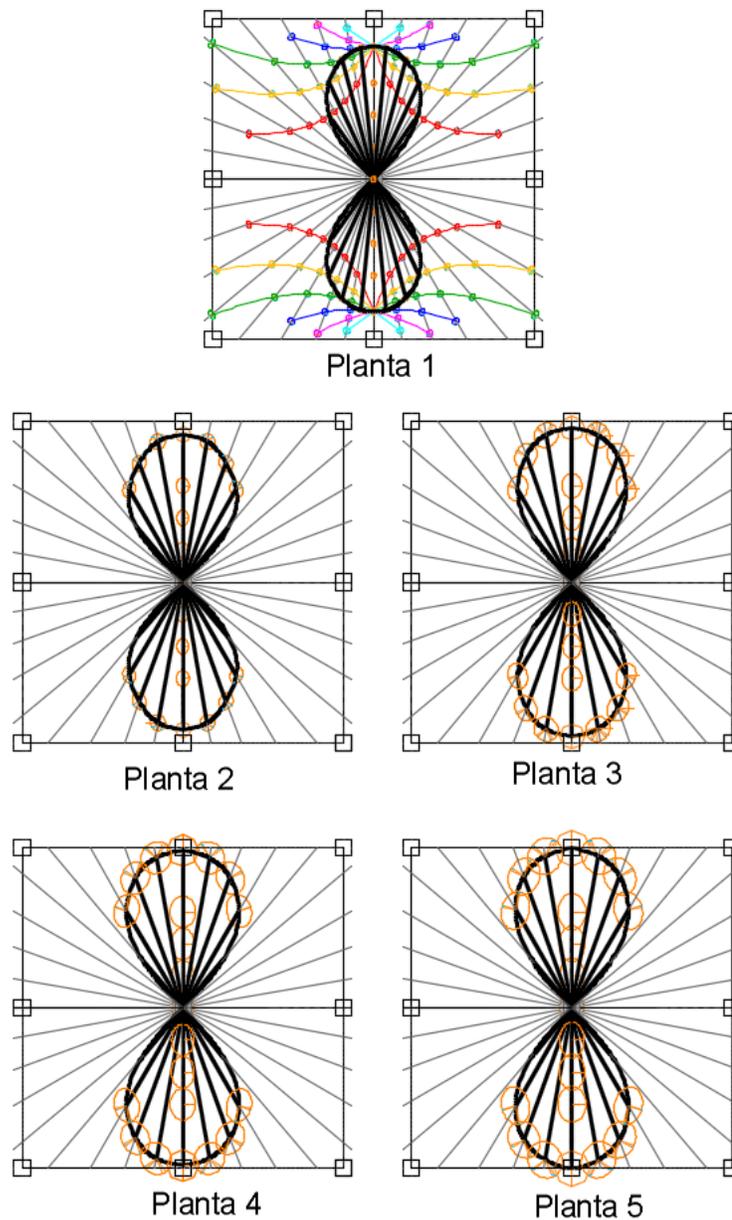


Figura 54.- Lemniscatas de Bernoulli Vertical en todas las plantas del Modelo 1.

Todos los puntos dentro de la lemniscata, tendrán mayor módulo de torsión en el eje de menor desplazamiento (Eje Fuerte), es decir, que está dirección será la genere mayor efecto de torsión en la estructura, ya que en este caso existe una mayor excentricidad entre la LAF y el

CR en comparación a la excentricidad de una LAF paralela al eje principal de mayor desplazamiento (eje débil).

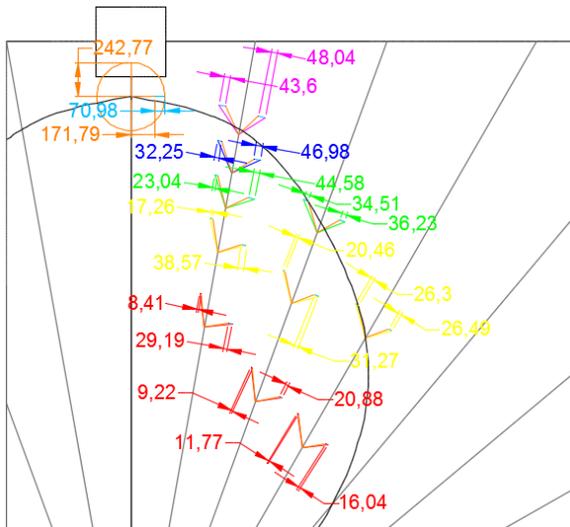


Figura 56.- Módulos de Torsión de los ejes principales de desplazamientos dentro de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 1 (medidas en mm).

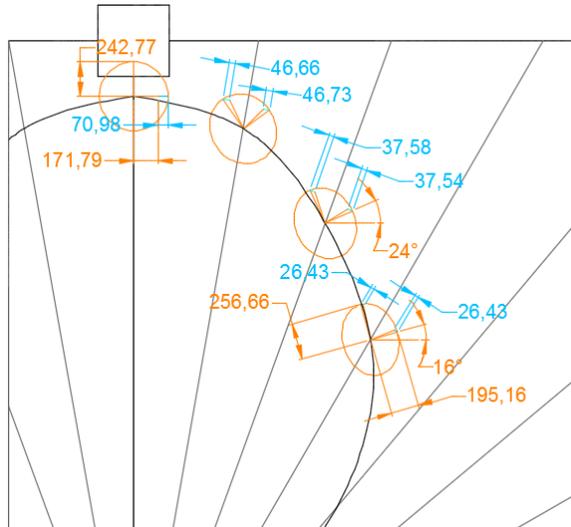


Figura 55.- Módulos de Torsión de los puntos de equilibrio sobre de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 1 (medidas en mm).

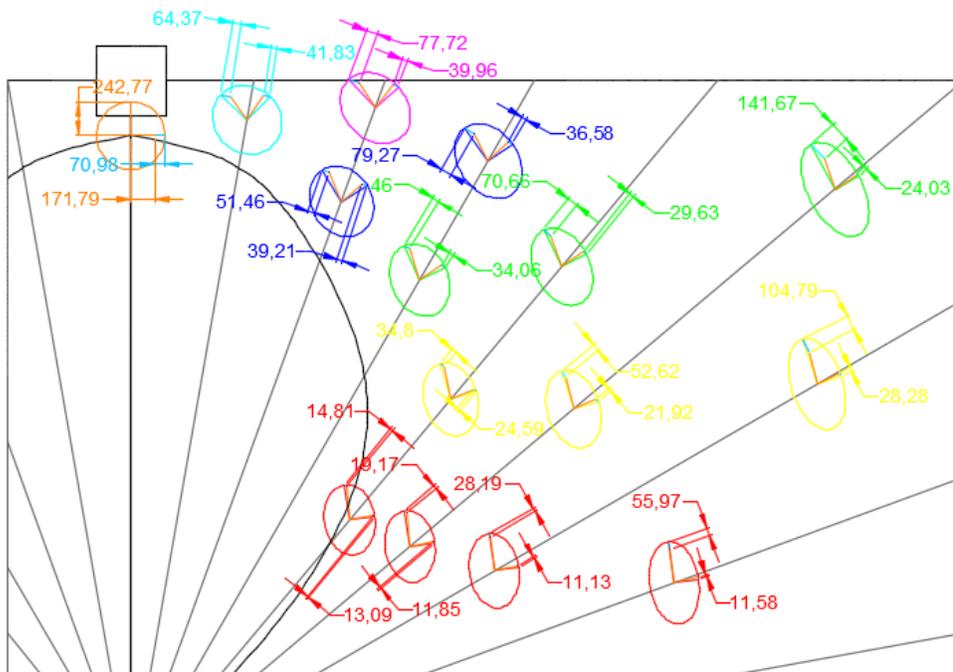


Figura 57.- Módulos de Torsión fuera de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 1 (medidas en mm).

Por otro lado, al observar los puntos que se encuentran fuera de la lemniscata, ocurre lo contrario, donde los mayores módulos de torsión se encuentran en el eje de mayor desplazamiento ya que existe una mayor excentricidad entre la LAF y el CR en comparación con una fuerza aplicada en el eje de menor desplazamiento, lo que representa una vulnerabilidad ante el comportamiento de flexotorsión, ya que existe una combinación de grandes efectos de traslación y torsión que incrementan los desplazamientos totales de los puntos.

La lemniscata permitió verificar la relación entre la rigidez traslacional y rotacional, ya que si se tiene una lemniscata que se sale de la planta, se debe a que el punto Q se encuentra muy alejado del CR, por lo cual existe un exceso en la Rigidez Torsional respecto a las Rigideces Traslacionales o que la diferencia en la Rigidez Fuerte y la Rigidez Débil de la estructura sea notable, ya que se necesitaría una mayor excentricidad para alcanzar el punto de equilibrio entre los desplazamientos.

Tabla 6.- Relación entre el Área de la Lemniscata y el Área de la Planta en Modelo 1

Piso	Área de Planta (m ²)	Área de Lemniscata (m ²)	% ($\frac{A_{Lemniscata}}{A_{Planta}}$)
Piso 1	200	16,9429	8,47%
Piso 2	200	21,4501	10,73%
Piso 3	200	22,6558	11,33%
Piso 4	200	23,9955	12,00%
Piso 5	200	24,4132	12,21%

Como se puede observar en las plantas superiores la lemniscata es más grande, pero nunca se sale de la planta, esto implica que hay un correcto balance entre las rigideces traslacionales y torsionales de la estructura, cabe destacar que si se disminuye la relación entre las rigideces traslacionales en los pisos superiores la lemniscata se hace más pequeña y tiende a ser más uniforme en todos los pisos, es decir, la lemniscata también es una herramienta que permite evaluar de forma gráfica el comportamiento de una estructura ante flexotorsión, ya que si se garantiza que la lemniscata se encuentra dentro la planta, existirá un correcto balance entre las rigideces de la estructura.

4.3.4. Análisis del movimiento de los CM del Modelo 2.

Es importante acotar que todas las propiedades descritas en el estudio del Modelo 1 se cumplen para este Modelo; adicionalmente, se realizaron comparaciones de dichas propiedades, haciendo las aclaratorias pertinentes.

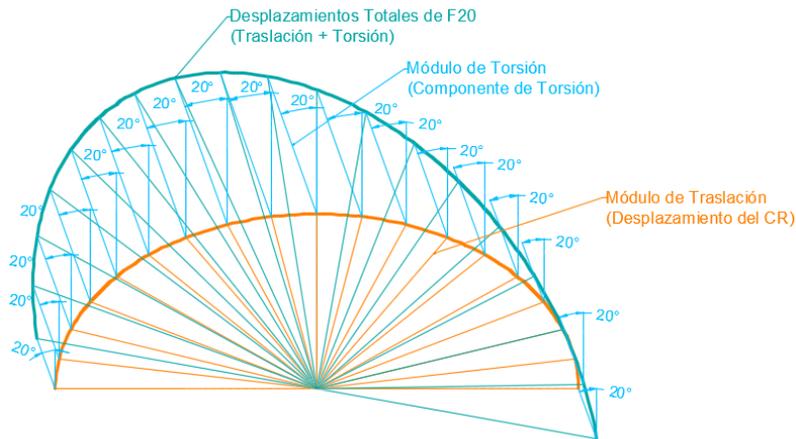


Figura 58.- Componentes del Desplazamiento Total del Punto $F_{20.P3}$ del Modelo 2.

Partiendo del comportamiento explicado para el modelo 1 se tomo un punto arbitrario y se determinaron e ilustraron los *Desplazamientos Totales*, *Módulos de Torsión* y *Módulos de Traslación* para fuerzas cada 10° como se puede observar en la **Figura 58**, lo que nos permite corroborar las propiedades antes descritas.

4.3.5. Análisis y comportamiento de los Módulos de Torsión. Modelo 2.

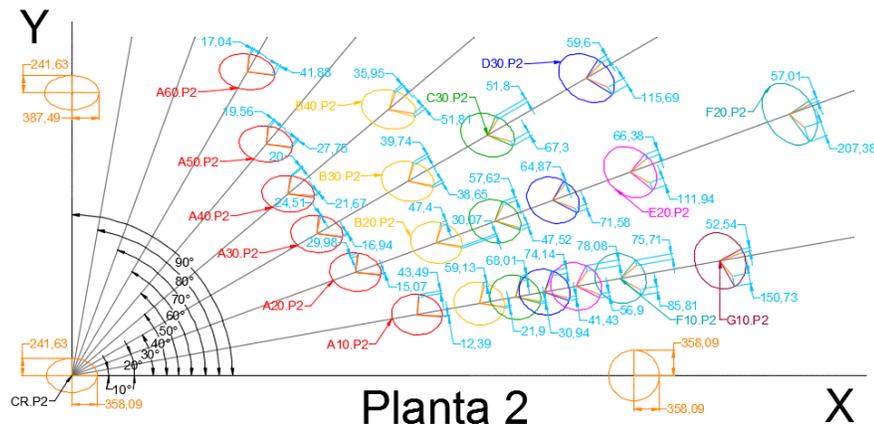


Figura 59.- Comportamiento de los Módulos de Torsión los ejes principales de desplazamiento en la Planta 2. Modelo 2 (Medidas en mm).

Analizando el comportamiento de los módulos de torsión de los ejes principales de las elipses se pueden corroborar las propiedades antes descritas que se cumplen para ambos modelos.

Igualmente en este Modelo existen radiales con segmentos que contienen puntos de equilibrio, ya que hay puntos consecutivos en una misma radial donde el mayor módulo de torsión pasa de estar en el eje menor de la elipse de desplazamiento del primer punto al eje mayor de la elipse del punto siguiente como se puede observar en la **Figura 59**. Por otro lado, al unir dichos puntos en cada planta determinados mediante el proceso iterativo antes señalado, se formaron Lemniscatas de Bernoulli Horizontales (**ver Figura 60**), a diferencia del Modelo 1 en donde se generaron Lemniscatas de Bernoulli Verticales en cada planta.

4.3.6. Análisis del Comportamiento de la Lemniscata de Bernoulli. Modelo 2.

Comparando el comportamiento de la Lemniscata de Bernoulli en cada uno de las plantas del modelo se tiene que:

Tabla 7.- Comportamiento de las Áreas de las Lemniscatas de Bernoulli con respecto al área de la planta del Modelo 2.

Planta	Área de Planta (m ²)	Área de Lemniscata (m ²)	% ($\frac{A_{Lemniscata}}{A_{Planta}}$)
1	270,00	46,5081	17,23%
2	270,00	62,2998	23,07%
3	270,00	69,5439	25,76%
4	270,00	67,9820	25,18%
5	270,00	67,3080	24,93%

Se puede observar que la Lemniscata más grande se formó en la planta 3, sin embargo, el punto Q más lejano al CR correspondió a la planta 4, lo que quiere decir que aunque el punto Q de la lemniscata del planta 3 se encuentra más cercano al CR, esta fue más ancha abarcando mayor área en la planta, a diferencia de la Lemniscata del nivel 4 que es más achatada. Por otro lado, se puede observar que las áreas de las Lemniscatas del nivel 4 y 5 son muy similares como era de esperarse ya que los puntos Q de dichos niveles se encuentran muy cercanos (Prácticamente en el mismo lugar). Es importante destacar, que a pesar de los cambios en las

Lemniscatas con la altura, ninguna de estas se sale del área de la planta lo que corresponde a un correcto balance entre las Rigideces Torsionales y Traslacionales de la estructura.

Comparando los resultados obtenidos en los Modelos 1 y 2, se puede decir que, como las Lemniscatas del Modelo 2 poseen mayor porcentaje de área respecto al área de la planta en comparación con el Modelo 1, se tiene una mayor probabilidad de que el CM se encuentre dentro o muy cercano a la Lemniscata, siendo este un comportamiento favorable para la estructura ante los efectos flexotorsionales.

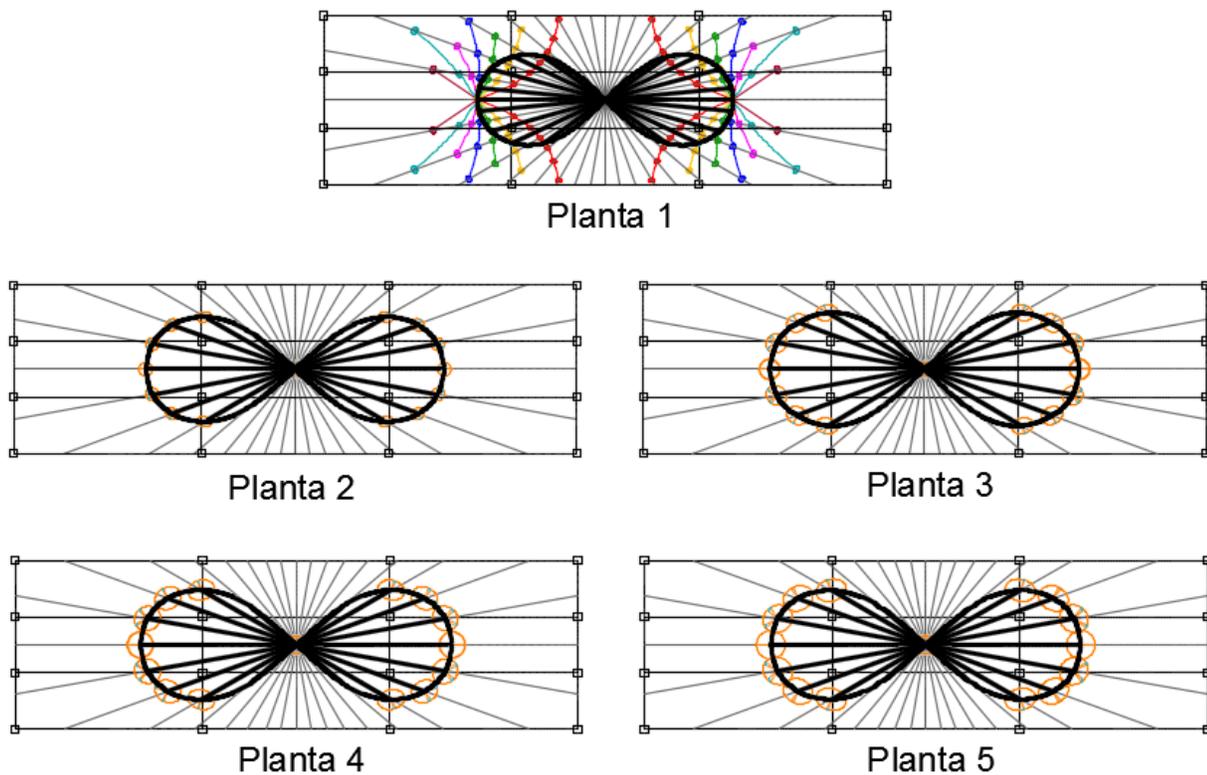


Figura 60.- Lemniscatas de Bernoulli en todos los pisos del modelo 2.

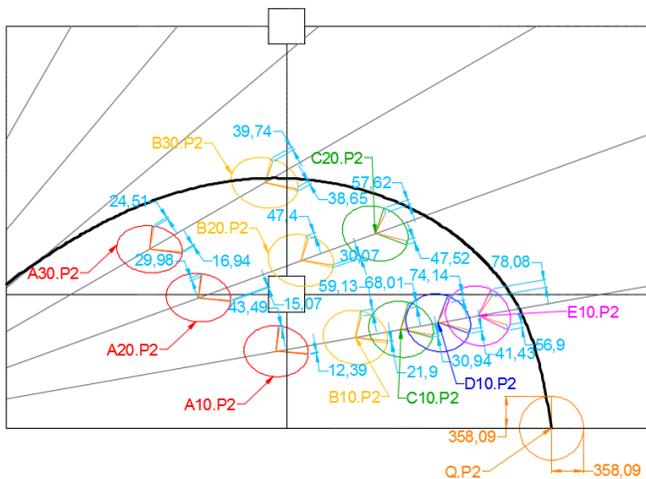


Figura 62.- Módulos de Torsión dentro de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 2 (medidas en mm).

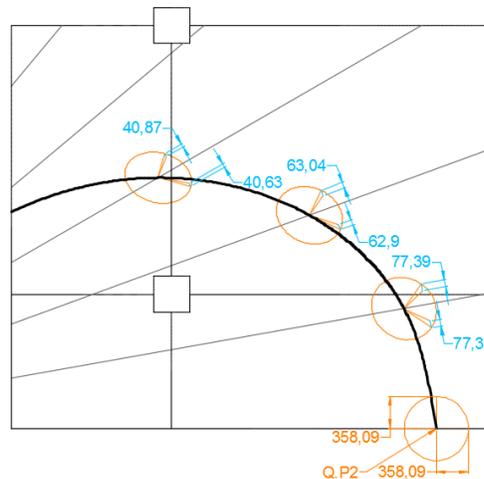


Figura 61.- Módulos de Torsión sobre de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 2 (medidas en mm).

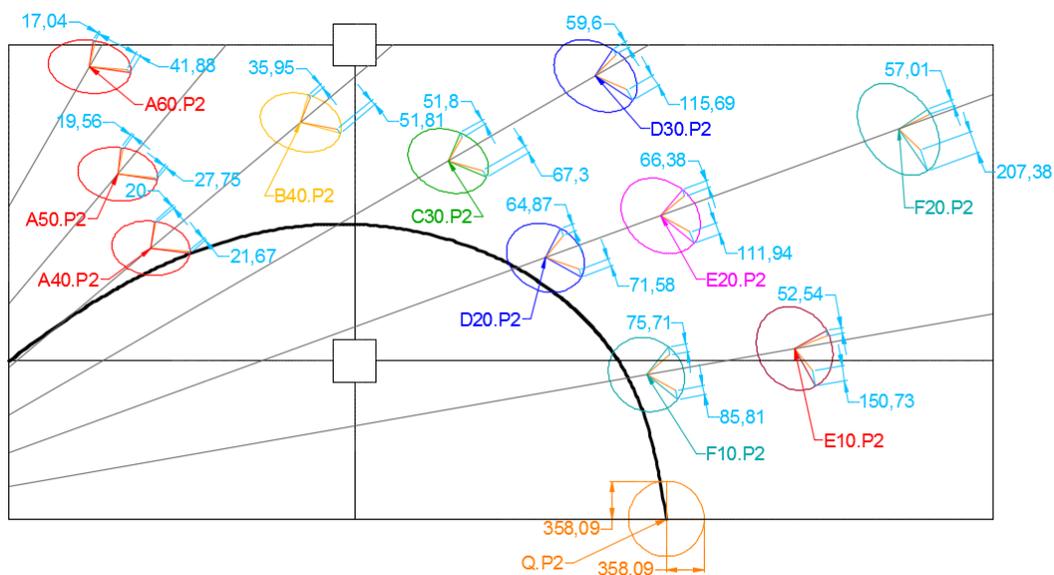


Figura 63.- Módulos de Torsión fuera de la Lemniscata de Planta 2 en Modelo 2 (medidas en mm).

4.4. Elipse de Culmann como herramienta de análisis

4.4.1. Elipses de Rigidez Multiplantares. Modelo 1.

Para construir la Elipse de Rigidez se realizó una serie de procedimientos que se explican a continuación:

1. Se aplicaron dos fuerzas sísmica conjugadas en los CR en direcciones paralelas a los ejes principales de la elipse de desplazamientos de estos puntos (ejes X y Y de coordenadas).
2. Se determinaron las fuerzas cortantes que se generan en cada una planta en las direcciones antes mencionadas, donde cada fuerza cortante se calculó como la sumatoria de las cargas sísmicas actuantes desde la última planta hasta la planta en estudio.
3. Se determinaron los ejes principales de las elipses de desplazamientos propios de los CR.
4. Se calculó la magnitud de los ejes principales de la elipse de rigidez, como el cociente entre la fuerza cortante de la planta y el desplazamiento propio del CR correspondiente en cada una de las plantas.

Los resultados obtenidos en el procedimiento anterior se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 8.- Cálculos para la determinación de la Elipse de Rigidez Multiplantar del Modelo 1.

Planta	Fuerza	Cortante	Elipse de Desplazamientos		Elipses Propias		Elipse de Rigidez	
	Tonf	Tonf	δx (mm)	δy (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Rx (Ton/mm)	Ry (Ton/mm)
1	200	3.000	70,943	93,204	70,943	93,204	42,2875	32,1875
2	400	2.800	171,785	242,769	100,842	149,565	27,7662	18,7210
3	600	2.400	262,498	383,023	90,713	140,254	26,4571	17,1118
4	800	1.800	331,352	491,609	68,854	108,586	26,1423	16,5767
5	1.000	1.000	371,980	559,322	40,628	67,713	24,6136	14,7682

4.4.2. Elipses de Culmann Multiplantares. Modelo 1.

Para construir la Elipse de Culmann es necesario determinar la Rigidez Torsional en cada planta. Para ello, se aplicó una función de momentos torsores en los CR de la estructura, donde luego se dividió el momento torsor acumulado desde la última planta hasta la planta en estudio entre la rotación propia de dicha planta. Esta rotación al igual que los desplazamientos propios o derivas, se obtienen como la diferencia entre la rotación de la planta en estudio y la rotación total de la planta inferior a esta. Finalmente, se calculó la magnitud de los ejes principales de la Elipse de Culmann mediante la aplicación de las ecuaciones 2.4 y 2.5 del marco teórico. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9.- Cálculos para la determinación de la Elipse de Culmann Multiplantar

Planta	Momento (Tonf.mm)	Momento Actuante (Ton.mm)	Rotaciones (rad)	Rotac. Propia Θ (rad)	Rigidez Torsional (Ton.mm/rad)	Elipse de Culmann	
						ρ_x (mm)	ρ_y (mm)
1	200.000	3.000.000	0,00131	0,00131	2.298.985.179	8.451,32	7.373,31
2	400.000	2.800.000	0,00334	0,00204	1.375.020.850	8.570,19	7.037,14
3	600.000	2.400.000	0,00522	0,00188	1.278.053.323	8.642,24	6.950,30
4	800.000	1.800.000	0,00665	0,00143	1.255.991.070	8.704,50	6.931,41
5	1.000.000	1.000.000	0,00752	0,00087	1.150.454.830	8.826,14	6.836,72

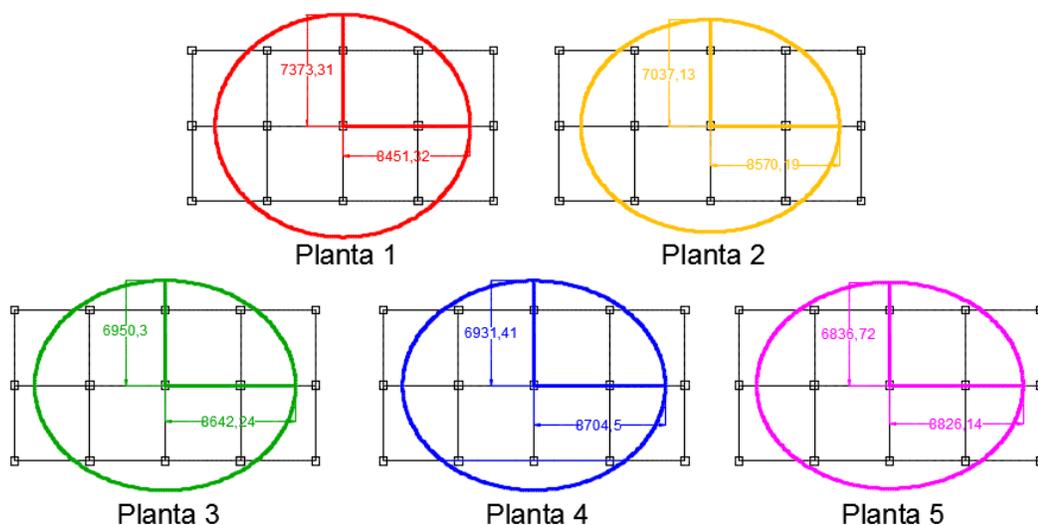


Figura 64.- Elipses de Culmann en todos los pisos en Modelo 1(medidas en mm).

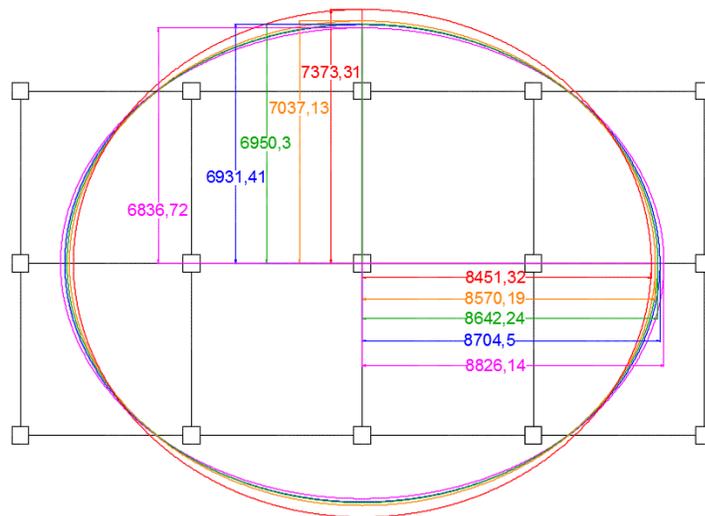


Figura 65.- Superposición de Elipses de Culmann de todos los pisos en Modelo 1 (medidas en mm).

Observando los resultados obtenidos, las Elipses de Culmann Multiplantares son muy similares en todas las plantas, esto se debe a que la estructura posee un comportamiento muy regular. Se pudo observar que a medida que se aumenta de planta a planta, la elipse tiene un aumento en su eje principal mayor y una disminución en su eje principal menor volviéndose más achatadas.

4.4.3. Elipse de Rigidez y Elipse de Culmann Multiplantar. Modelo 2.

A partir de los conceptos explicados para el Modelo 1 y realizando el mismo análisis se determinó la Elipse de Rigidez y la Elipse de Culmann de cada uno de los pisos del Modelo 2, donde los resultados obtenidos se reflejan en las siguientes tablas:

Tabla 10.- Cálculo para la determinación de la Elipse de Rigidez Multiplantar del Modelo 2.

Plantas	Fuerza Tonf	Cortante Tonf	Elipse de Desplazamientos		Elipses Propias		Elipse de Rigidez	
			δx (mm)	δy (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Rx (Ton/mm)	Ry (Ton/mm)
1	200	3.000	150,3390	111,5170	150,3390	111,5170	19,9549	26,9017
2	400	2.800	358,0890	241,6270	207,7500	130,1100	13,4777	21,5203
3	600	2.400	542,7780	357,0250	184,6890	115,3980	12,9948	20,7976
4	800	1.800	681,7520	446,7620	138,9740	89,7370	12,9521	20,0586
5	1.000	1.000	761,8440	501,5930	80,0920	54,8310	12,4856	18,2379

Tabla 11.- Cálculo para la determinación de la Elipse de Culmann Multiplantar del Modelo 2

Plantas	Momento (Tonf.mm)	Momento Actuante (Ton.mm)	Rotaciones (rad)	Rotac. Propia Θ (rad)	Rigidez Torsional (Ton.mm/rad)	Elipse de Culmann	
						ρx (mm)	ρy (mm)
1	200.000	3.000.000	0,00084	0,00084	3.571.428.571	11.522,08	13.378,15
2	400.000	2.800.000	0,00184	0,00100	2.806.173.582	11.419,15	14.429,42
3	600.000	2.400.000	0,00272	0,00088	2.723.558.783	11.443,58	14.477,16
4	800.000	1.800.000	0,00340	0,00068	2.643.948.296	11.480,90	14.287,53
5	1.000.000	1.000.000	0,00381	0,00041	2.440.214.739	11.567,17	13.980,05

Se puede observar que el comportamiento las Elipses de Culmann en cada una de las plantas es muy similar debido al comportamiento regular de la estructura explicado en el Modelo 1. En este caso, no se observó un patrón de comportamiento que defina el cambio en la magnitud de los ejes principales de la elipse de una planta a otra.

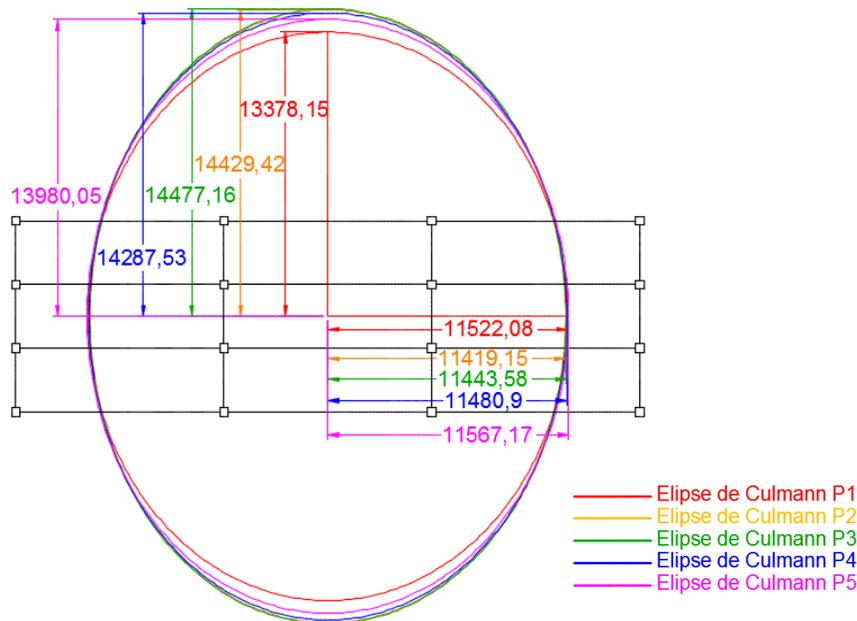


Figura 66.- Superposición de Elipses de Culmann de todos los pisos en Modelo 2 (medidas en mm).

4.4.4. Núcleos Centrales de Torsión Multiplantares (NCT)³. Modelo 1.

Cabe destacar que en este TEG se está aplicando por primera vez en la línea de investigación, el concepto de Núcleos Centrales de Torsión en estructuras de varias plantas para determinar cómo es su comportamiento ante cargas excéntricas.

A partir de las Elipses de Culmann Multiplantares, se procede a la determinación de los NCT de cada uno de los pisos, mediante la aplicación de relaciones Polo-Polar y las trazas de los pórticos. Es importante recordar que el NCT determinado a partir de la Elipse de Culmann es el lugar geométrico donde al aplicar una fuerza excéntrica paralela al pórtico perimetral más cercano a dicha fuerza, se genera el doble de las deformaciones por traslación pura y para este caso estando en el rango lineal de los materiales, se obtiene el doble de los esfuerzos. De allí el concepto del Factor de Amplificación Torsional (FAT) de 2. A continuación se muestra los resultados obtenidos para el Modelo 1:

³ TEG (UCAB) Paz. O., Peña. O., (2011).

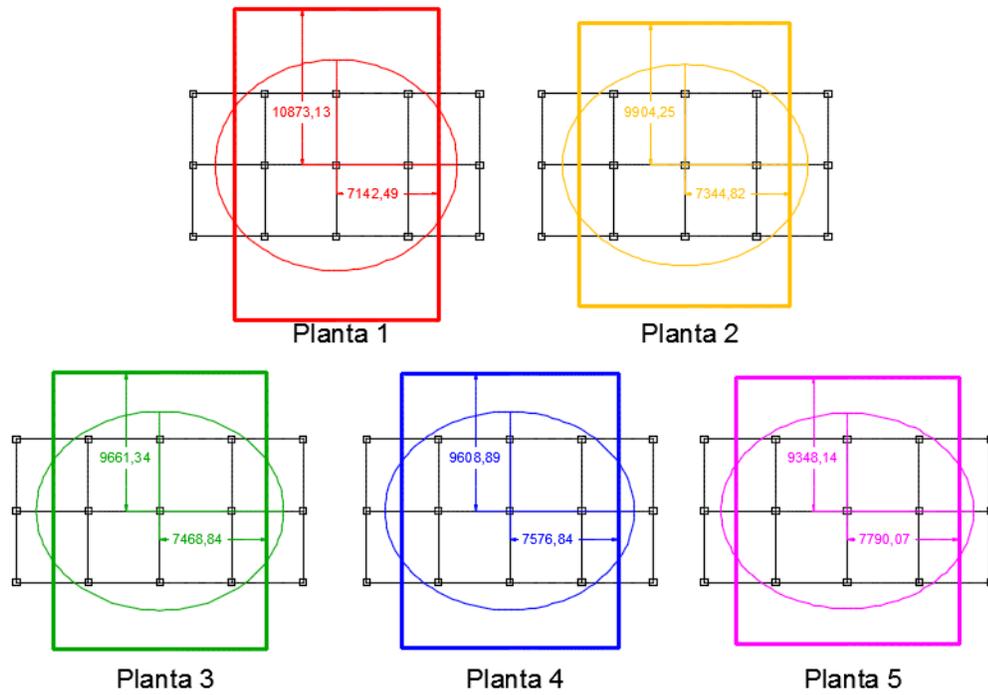


Figura 67.- NCT de cada uno de las plantas del Modelo 1 (medidas en mm).

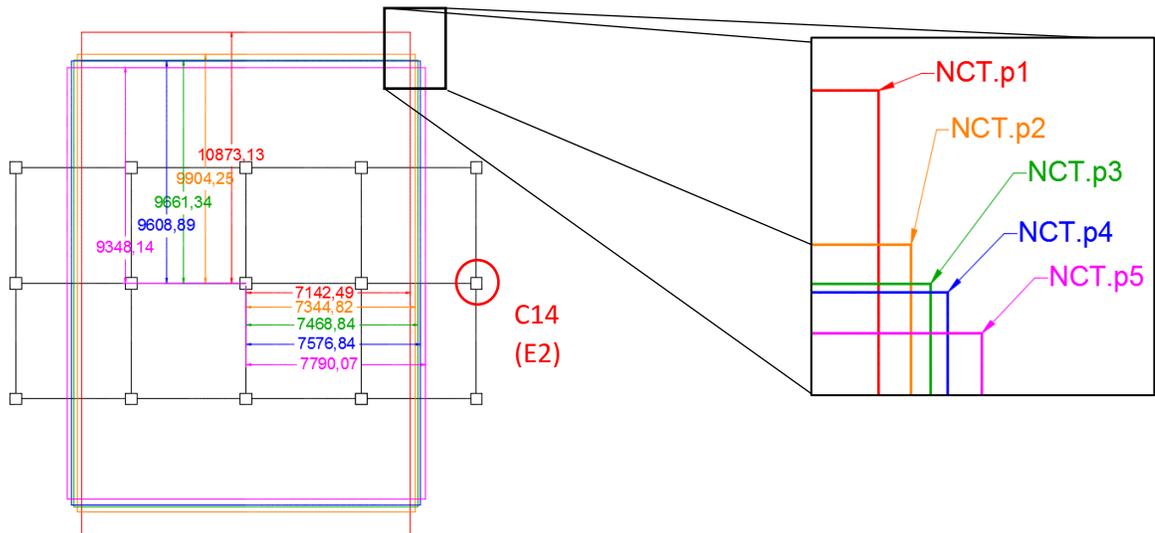


Figura 68.- Superposición de los NCT de cada planta del Modelo 1, donde se puede observar su comportamiento y su cercanía (medidas en mm).

Se puede observar claramente que los NCT en cada uno de los pisos van disminuyendo su dimensión vertical de planta a planta y a su vez aumentando su dimensión horizontal. Por otro lado, se observó que todos los NCT en la parte superior e inferior se salen de la planta, esto se debe a que los pórticos perimetrales (superior e inferior) se encuentran dentro de la elipse de Culmann, lo que garantiza mediante relaciones Polo-Polar que estos nunca tendrán un $FAT \geq 2$, ya que el límite físico de la posición de la carga sísmica para estas estructuras es el área de la planta, por ende, no tendría ningún sentido lógico aplicar una carga sísmica fuera de la estructura.

Para analizar los FAT que se generan en cada planta, se realizaron varios casos de ubicación de carga sísmica en dirección Y (90°) aplicada en el límite de cada uno de los NCT de las plantas, para determinar los esfuerzos en el pórtico perimetral más cercano a dicha carga (Pórtico E) en cada planta, y así compararlos con los esfuerzos resultantes de la Traslación Pura en esta dirección y determinar el FAT correspondiente para cada uno de los casos.

En base al análisis de los NCT de cada uno de las plantas; es importante aclarar, que sólo se reportó el Esfuerzo Cortante en dirección “Y” (V3) de la columna “C14”; la cual es, la columna central del Pórtico E (columna E2, referenciado a la cuadrícula, **ver figura 68**), ya que ésta fue la columna más solicitada por el esfuerzo cortante en todas las plantas.

A continuación se muestran las tablas con cada uno de los resultados obtenidos durante dicho análisis:

Tabla 12.- Resultados de los Esfuerzos Cortantes en dirección “Y” en diferentes posiciones del Eje de Masas (EM) para el modelo 1.

Tabla 12.1.- Eje de Masas en el CR

Planta	Columna	Fuerza	V3
			Tonf
1	C14	CR	218,51
2	C14	CR	221,51
3	C14	CR	190,86
4	C14	CR	142,69
5	C14	CR	86,34

Tabla 12.2.- Eje de Masas en NCT_{P1}

Planta	Columna	NCT	V3	FAT
			tonf	
1	C14	1	443,70	2,03
2	C14	1	442,51	2
3	C14	1	379,84	1,99
4	C14	1	283,61	1,99
5	C14	1	169,94	1,97

Tabla 12.3.- Eje de Masas en NCT_{P2}

Planta	Columna	NCT	V3 tonf	FAT
1	C14	2	450,08	2,06
2	C14	2	448,77	2,03
3	C14	2	385,19	2,02
4	C14	2	287,61	2,02
5	C14	2	172,31	2

Tabla 12.4.- Eje de Masas en NCT_{P3}

Planta	Columna	NCT	V3 tonf	FAT
1	C14	3	453,99	2,08
2	C14	3	452,61	2,04
3	C14	3	388,47	2,04
4	C14	3	290,05	2,03
5	C14	3	173,76	2,01

Tabla 12.5.- Eje de Masas en NCT_{P4}

Planta	Columna	NCT	V3 tonf	FAT
1	C14	4	457,39	2,09
2	C14	4	455,95	2,06
3	C14	4	391,33	2,05
4	C14	4	292,18	2,05
5	C14	4	175,02	2,03

Tabla 12.6.- Eje de Masas en NCT_{P5}

Planta	Columna	NCT	V3 tonf	FAT
1	C14	5	464,12	2,12
2	C14	5	462,55	2,09
3	C14	5	396,97	2,08
4	C14	5	296,39	2,08
5	C14	5	177,52	2,06

Como se puede observar en la **Tabla 12.2**, los FAT van disminuyendo desde la primera planta hasta la última, donde el mayor FAT se obtuvo en la planta 1, siendo este resultado muy lógico ya que la carga sísmica se encuentra dentro del límite de los NCT superiores. Caso

contrario, cuando se aplicó la carga sísmica en el límite del NCT_{P5} mostrado en la **Tabla 12.6**, las cargas se encuentran fuera de los NCT inferiores, generando FAT mayores al de dicha planta en los niveles inferiores, siendo el FAT mayor el de la planta 1.

Estos resultados dan como evidencia que se puede definir un **Núcleo Central de Torsión Definitorio**, el cual representa la restricción para que en ninguno de los pisos de la estructura se presente un $FAT \geq 2$. Dicho Núcleo se obtiene superponiendo e intersectando todos los NCT de la estructura. En este caso el Núcleo Definitorio se determina a partir de los límites del NCT_{P1} y los del NCT_{P5} , como se puede observar en la siguiente figura:

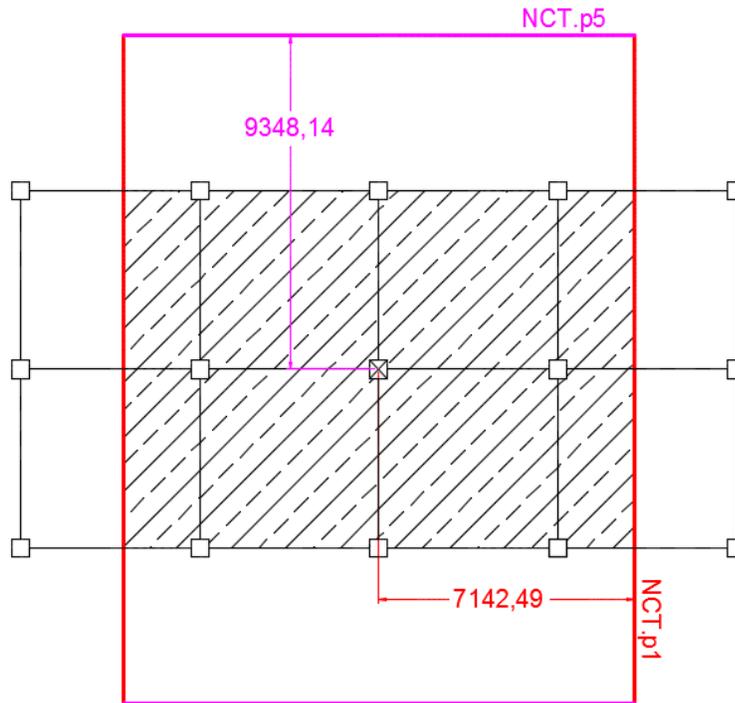


Figura 69.- Núcleo Definitorio para el Modelo 1 (medidas en mm).

4.4.5. Posición de los Centros Instantáneos de Rotación (CIR).

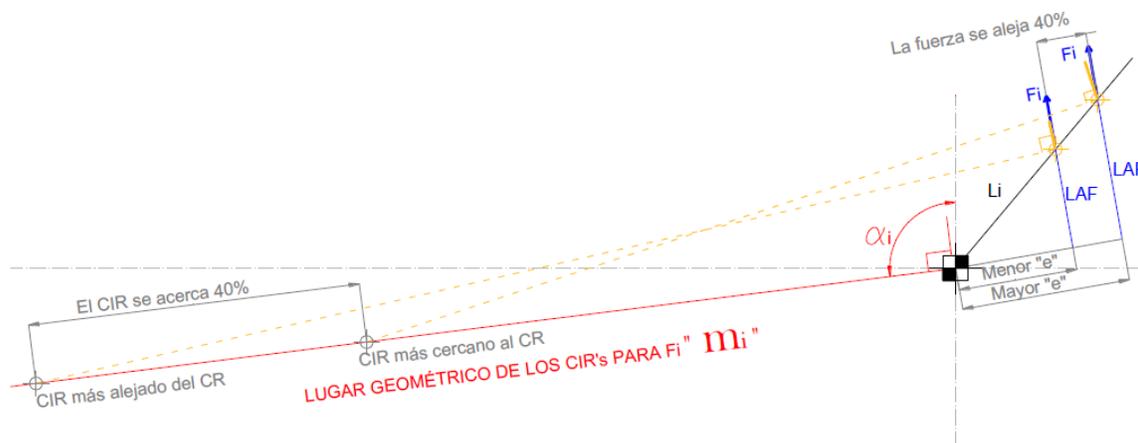


Figura 70.- Posición del CIR para una misma dirección de fuerza³.

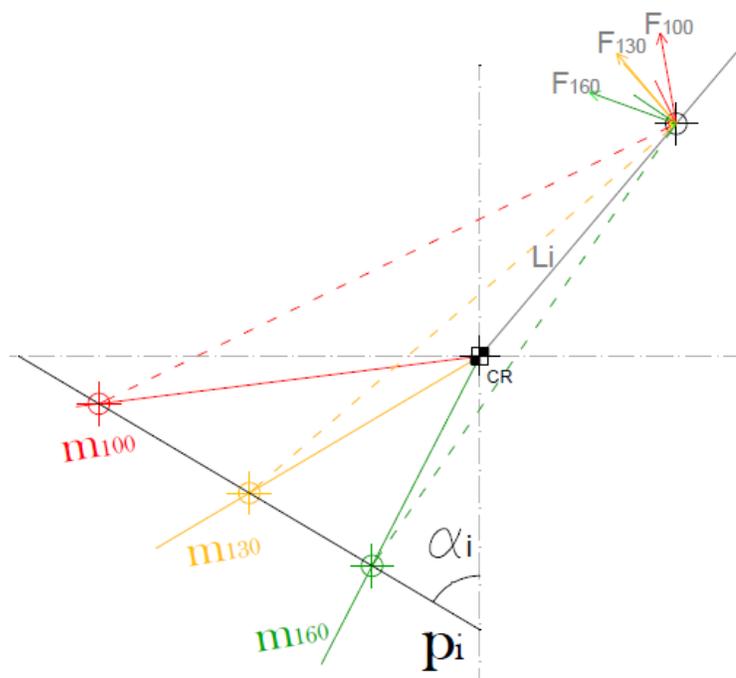


Figura 71.- Lugar geométrico de los CIR de un punto³.

³ TEG UCAB Parodi, S., Reyes, M. (2012).

Observando las figuras anteriores se pueden deducir las siguientes propiedades:

1. A mayor excentricidad entre la LAF y el CR, menor será la distancia entre el CIR y el CR, es decir, que el movimiento tenderá a ser de Torsión Pura, manteniendo una misma proporción entre la distancia de excentricidad y la distancia de cercanía entre el CIR y el CR.
2. Para LAF paralelas en distintos puntos de una radial, se observa que existe un lugar geométrico denominado “*recta m*” que contiene todos los posibles CIR que se generan bajo esta condición.
3. Para un punto P cualquiera sobre una planta, se puede observar que si se aplica una fuerza F en varias direcciones, todos los CIR generados se encontraran sobre un mismo lugar geométrico denominado “*recta p*”.

A partir de estas propiedades se planteó el Límite de Fuerza Excéntrica:

“Con el objeto de garantizar que el CIR esté siempre fuera del área de la planta...” “... se planteó el lugar geométrico límite donde puede ser aplicada una fuerza en cualquier dirección. Esta frontera se denominó: Límite de Fuerza Excéntrica (LFE)”.
(Parodi. S., Reyes. M., TEG 2012, pág. 63).

Dicho límite fue determinado para evitar que el tope y la base de una columna que une dos plantas se muevan en direcciones diferentes, especialmente para el caso en donde la posición de los CM de dos plantas consecutivas conlleva que los CIR se encuentren en el mismo cuadrante en cada planta separados una distancia dada, ya sea dentro o fuera del diafragma, como se muestra:

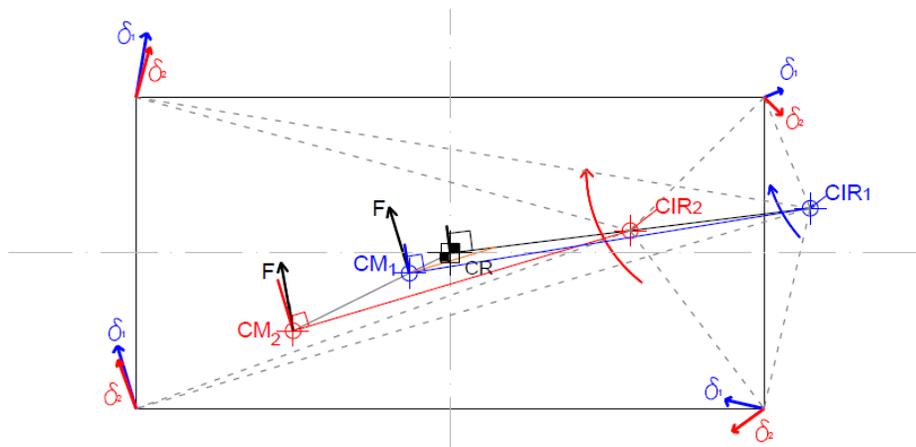


Figura 72.- Comportamiento de los CIR en dos plantas consecutivas. Extraído de ANEXOS de TEG UCAB. Parodi. S., Reyes. M. (2012).

4.4.6. Límite de Fuerza Excéntrica Multiplantar. Modelo 1.

Es importante destacar que el procedimiento para obtener el NCT y el LFE a partir de la Elipse de Culmann es similar, por ello ambos están muy vinculados, ya que al tratarse de una planta simétrica, la ubicación del CIR estará en el pórtico perimetral opuesto (Pórtico A, específicamente columna A2) cuando la carga sísmica es aplicada en dirección Y (90°) en la L_0 en el límite del NCT_{P1} .

A partir de lo dicho anteriormente, se procede a la determinación del LFE utilizando los NCT de cada uno de las plantas, para ello se utilizó el “método rápido” uniendo los puntos medios de los NCT de cada planta.

En las siguientes figuras se puede apreciar todos los LFE de la estructura así como también la superposición de los mismos, donde se puede observar la existencia de otro Núcleo Definitorio pero ahora vinculado al LFE, que determina la dirección y posición de la carga sísmica para que no se genere un CIR dentro de cualquiera de las plantas de la estructura.

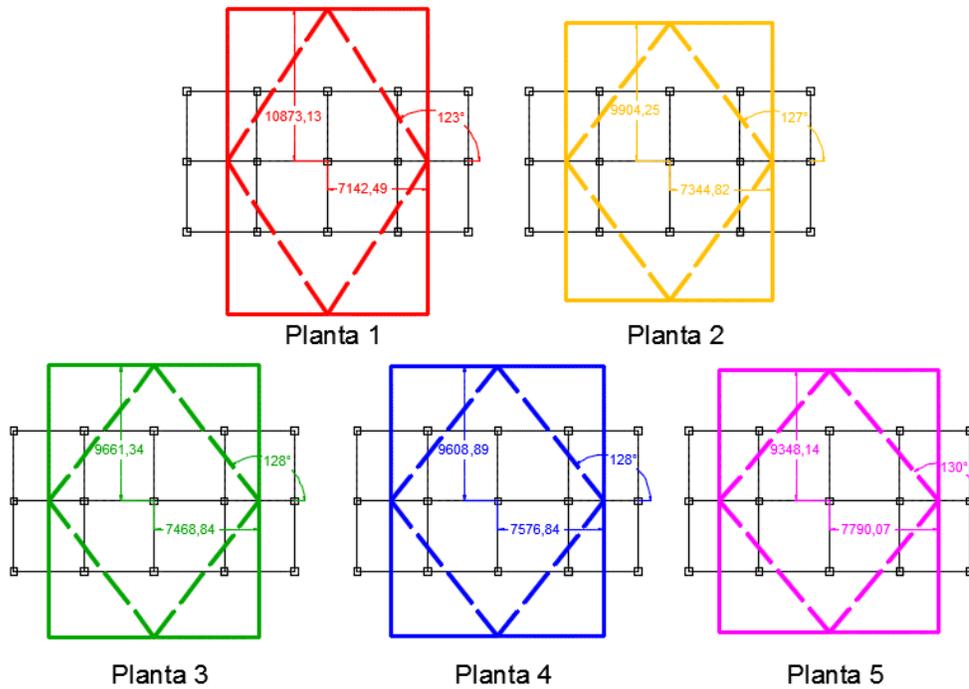


Figura 73.- LFE (Líneas Segmentadas) y NCT (Líneas Continuas) de cada una de las plantas del modelo 1. (Medidas en mm)

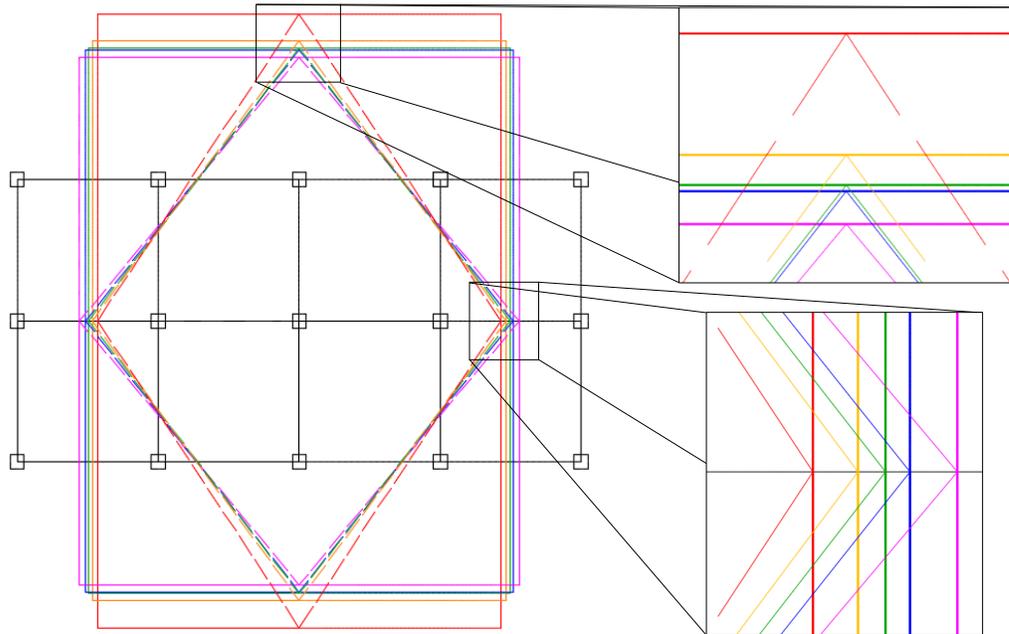


Figura 74.- Superposición de todos los LFE y NCT del modelo 1 (Medidas en mm)

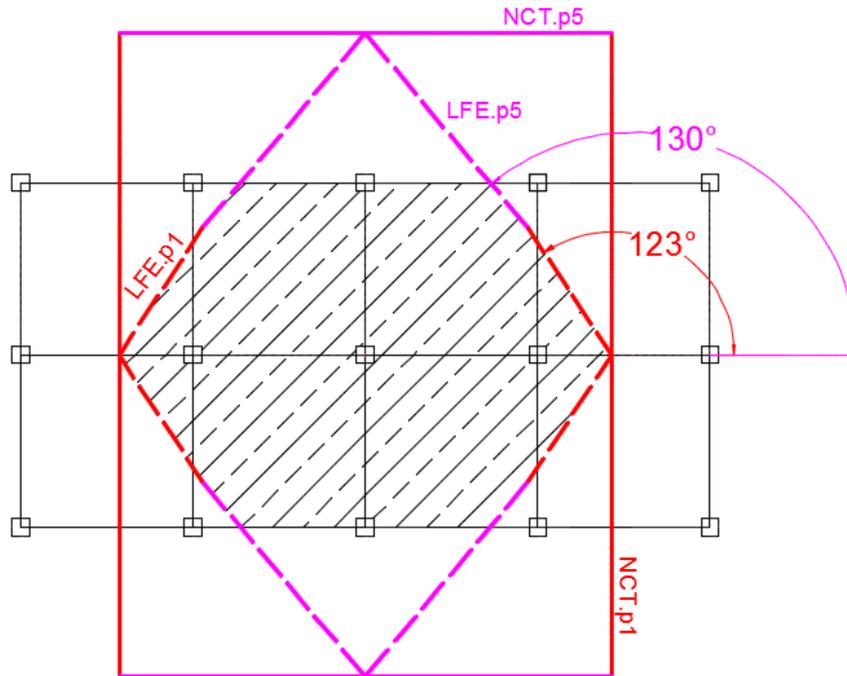


Figura 75.- Núcleo Definitorio de LFE para el Modelo 1.

4.4.7. CIR en las diferentes plantas de la estructura. Modelo 1.

Es importante determinar el comportamiento de los CIR en todas las plantas de la estructura, ya que la existe la teoría de que a mayor separación entre CIR de dos plantas consecutivas, implica que una planta se mueve mucho más que la otra generándose un aumento en los esfuerzos de las columnas que los unen.

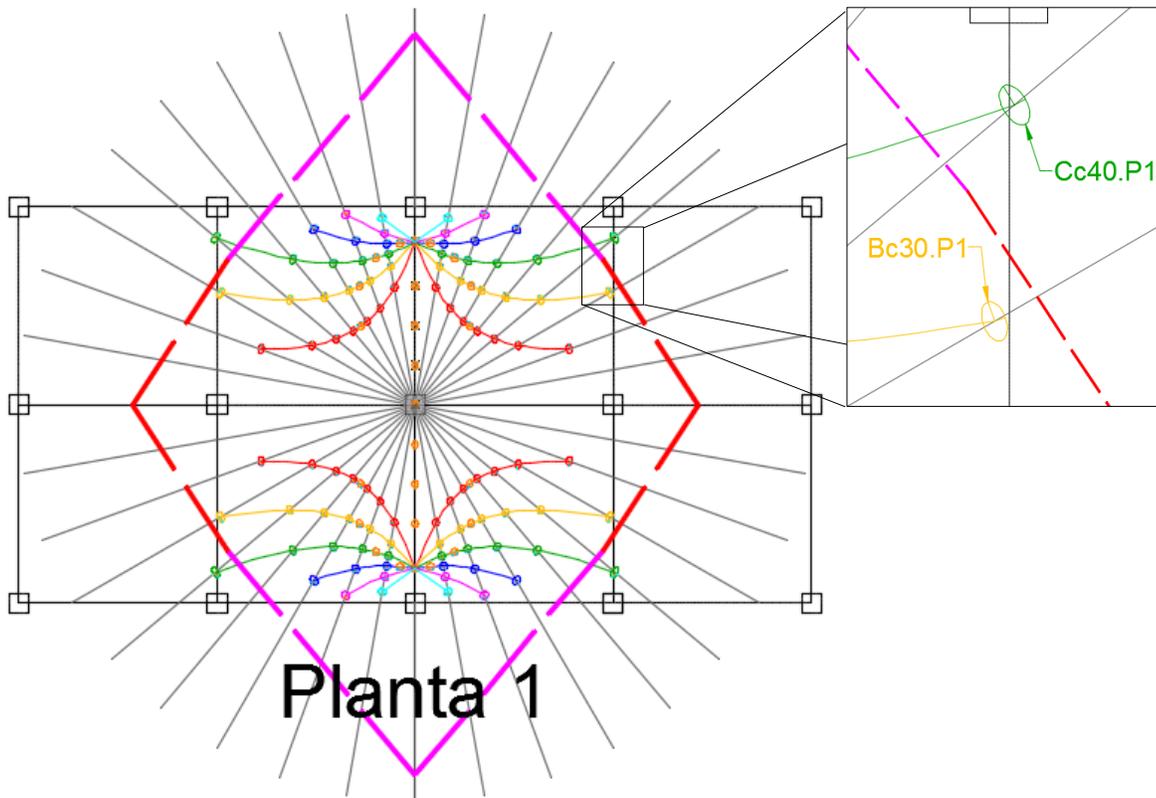


Figura 76.- Posición de los Puntos Característicos en la planta 1 del Modelo 1 con respecto al LFE.

Como se puede observar en la **Figura 76**, existe solo un Punto Característico fuera del LFE Definitorio el cual según los conceptos anteriores, es el punto que genera CIR dentro de la planta cuando se le aplica una función de carga. Para analizar el comportamiento de los CIR para dicho punto se determinaron las rectas “p” en todas las plantas del modelo 1 de los puntos C₄₀ y B₃₀, y se compararon para determinar propiedades importantes en los comportamientos de los CIR de ambos puntos.

Al determinar todos los CIR de las plantas cuando se aplica una función de carga en una dirección, se pudo observar que existen diferencias entre las posiciones consecutivas de los CIR de cada una de las plantas como se muestra a continuación:

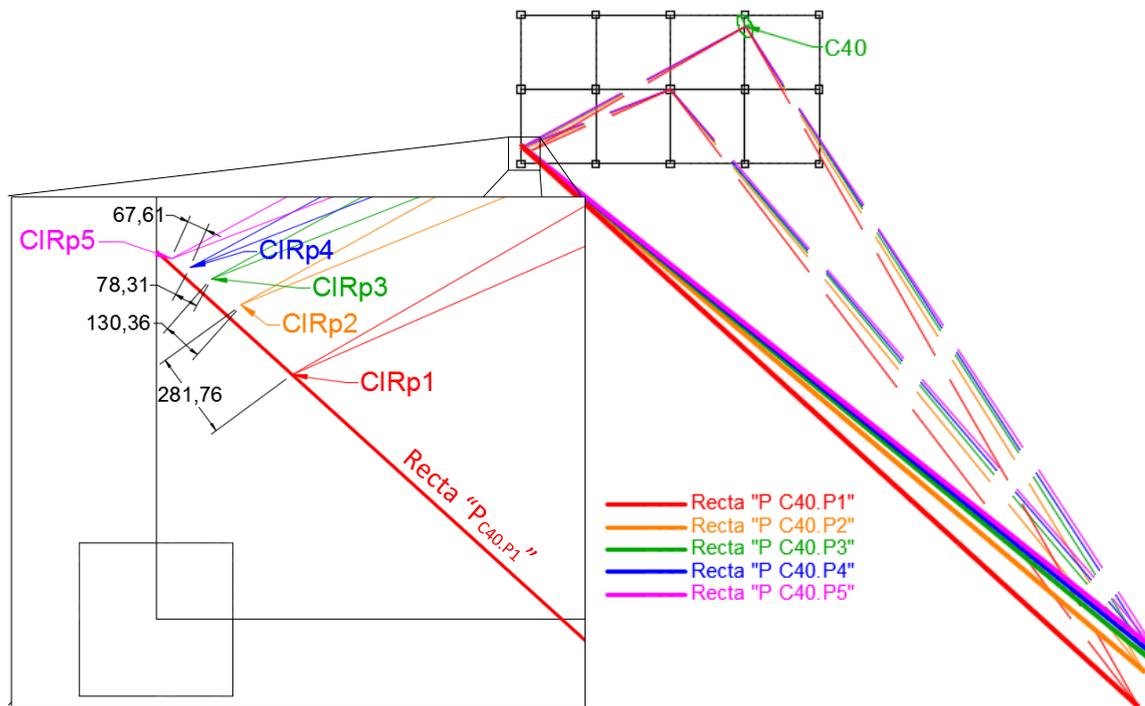


Figura 77.- Posición de los CIR y Rectas P_{C40} en todas las Plantas del Modelo 1 (medidas en mm).

En la **Figura 77** se muestran varias rectas, donde cada una representa el lugar geométrico que contiene los distintos CIR generados en una planta al aplicar una carga sísmica en cualquier dirección sobre un CM fijo (punto C_{40}). Se observa que cada recta tiene una inclinación diferente. Para definir estas rectas “p” sólo se necesita determinar la ubicación de dos CIR, los cuales al unirse forman dicha recta, en este caso se aplicaron dos cargas sísmicas conjugadas en el punto C_{40} , luego con el método gráfico de afinidad, en cada planta se determinaron los desplazamientos que cada una produce en su CR, donde posteriormente se encontró cada CIR intersectando las normales a los desplazamientos producidos por estas cargas en el CR y en el punto en estudio. Estas normales en cada planta se pueden apreciar en la figura en líneas punteadas, y los CIR enfocados corresponden a una de las direcciones de carga sísmica conjugada, visualizando la separación de los CIR en plantas consecutivas.

Se puede observar que existe mayor separación entre los CIR de las plantas 1 y 2, esto se debe a la marcada diferencia que existe entre las rigideces torsionales y traslacionales de dichas plantas en comparación al resto, lo que conlleva a direcciones de desplazamientos distintas bajo una misma carga sísmica. En cuanto al resto de las plantas, se puede observar que las separaciones entre CIR consecutivos disminuyen y son muy parecidas, lo que se traduce en un comportamiento bastante regular.

Una vez definida la recta “p” en una planta como se explicó anteriormente, se puede observar en la **Figura 78**, que esta corta a la planta en la esquina inferior izquierda, lo que indica que existen direcciones de cargas sísmicas que generan CIR dentro de la planta. Para buscar las direcciones de las LAF en el punto C₄₀ que hace que los CIR entren en la planta se utilizaron relaciones Polo-Polar sobre la Elipse de Culmann del piso 1 (ya que es más restrictivo) ubicando los CIR (Antipolos) justo en los puntos de intersección de la recta “p” con los pórticos perimetrales de la planta definiendo los puntos 1 y 2.

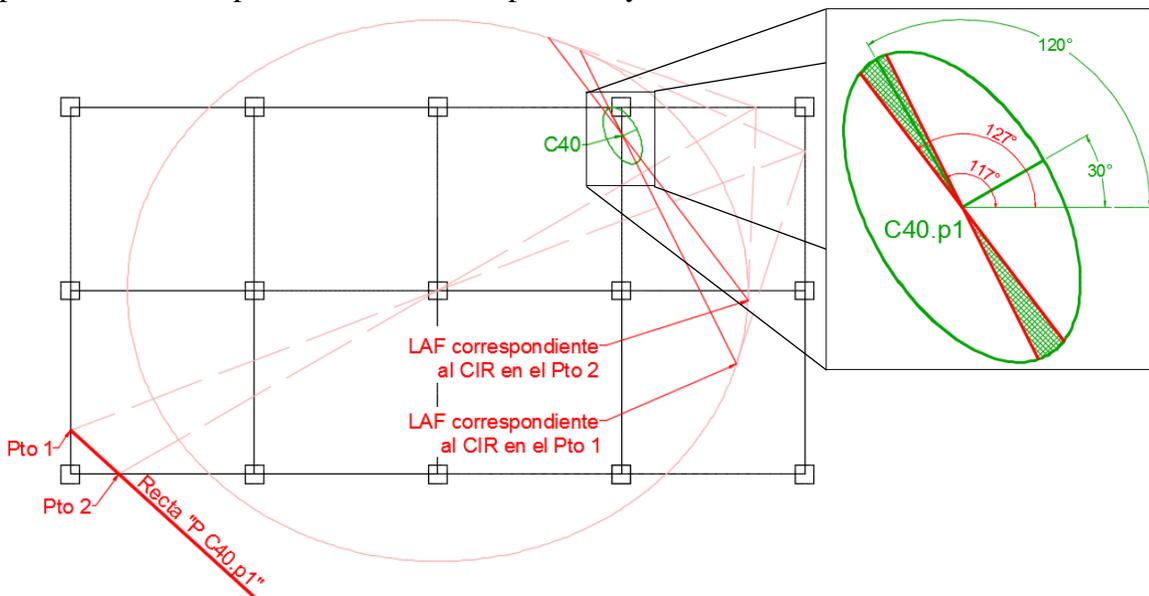


Figura 78.- Relaciones Polo-Polar para determinar de las LAF (Polar) para que los CIR (Antipolos) entren en la planta.

Se observa en la **Figura 78** que se delimitó una zona dentro de la cual al aplicar una LAF se generan CIR dentro de la planta, por lo tanto se evidencia que al aplicar una LAF excentrica tal que esta se encuentre fuera del LFE no necesariamente los CIR entraran en la planta, para que esto suceda se debe aplicar una fuerza dentro de la zona antes mencionada. Se puede decir que el LFE es el límite que garantiza que ninguno de los puntos de la planta genere un CIR dentro de ella.

Por otro lado, al analizar el punto que se encuentra dentro del LFE en la **Figura 76**, se observó que ninguna de las rectas “p” intersectan a la planta, lo que explica, que sin importar la dirección de aplicación de la fuerza en dicho punto se genera un CIR dentro de la planta, lo que corrobora la lo señalado anteriormente.

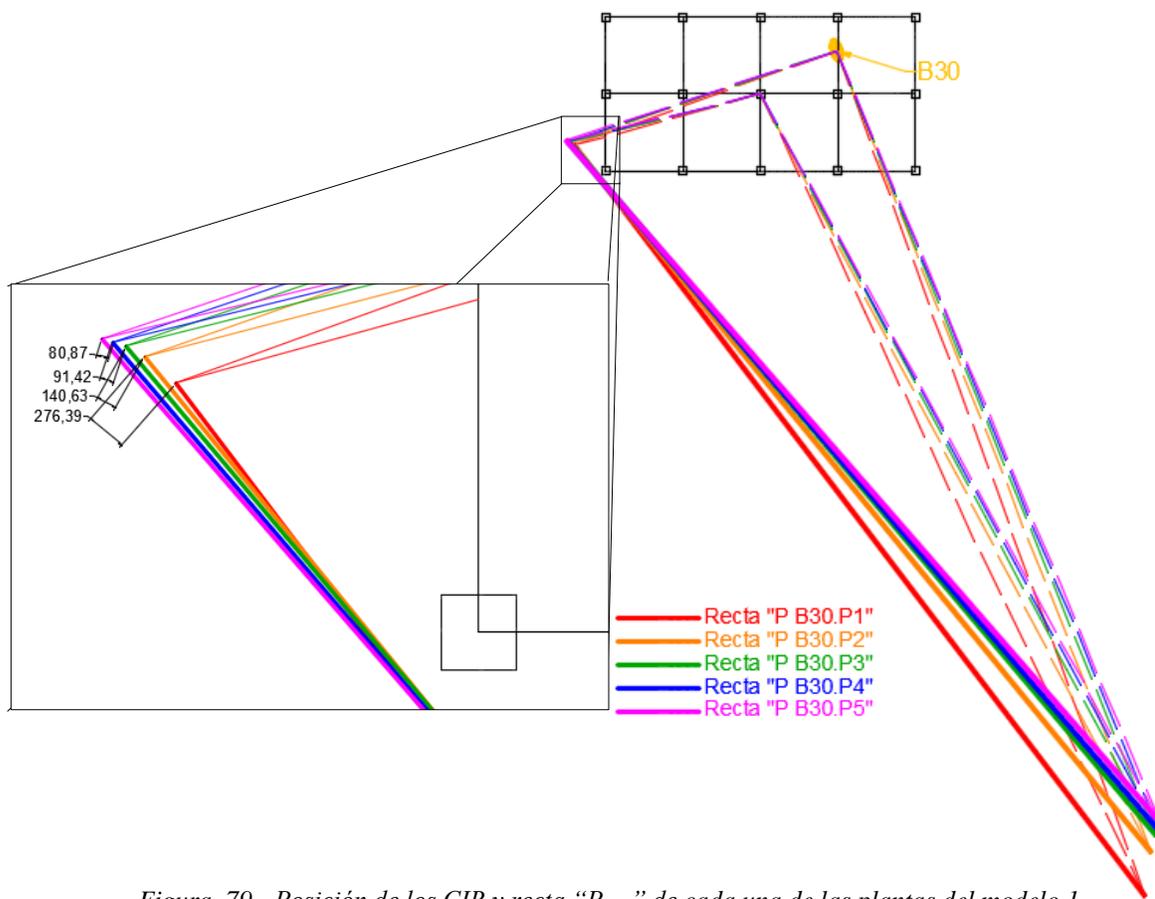


Figura 79.- Posición de los CIR y recta “P_{B30}” de cada una de las plantas del modelo 1. (Medidas en mm).

4.4.8. Núcleos de Centrales de Torsión Multiplantares. Modelo 2.

De igual forma que el Modelo 1, se determinaron los NCT de cada uno de los pisos, verificando que estos poseen un comportamiento bastante uniforme debido a la regularidad de la estructura como se explicó anteriormente.

Luego se determinó el “NCT Definitorio” para la estructura, mediante la intersección de los NCT de cada uno de las plantas, es importante recordar que este determina el límite de excentricidad del Eje de masa para que no se genere un $FAT \geq 2$ en alguna de las columnas de la estructura. En las siguientes figuras se pueden observar los resultados obtenidos:

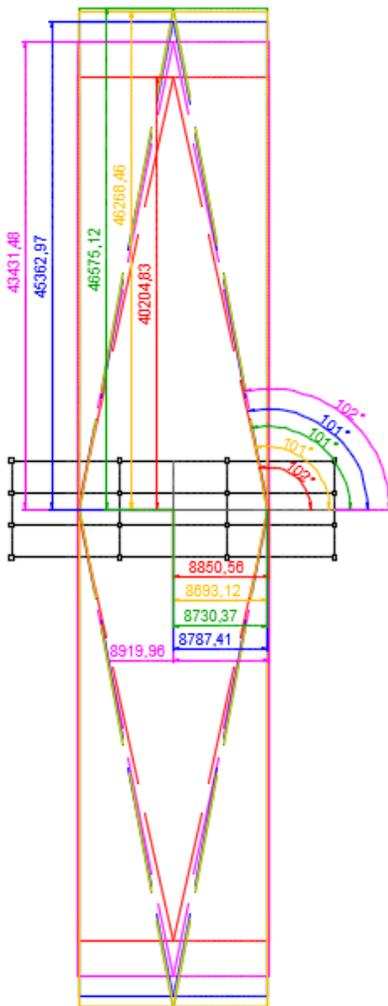


Figura 80.- Superposición de los NCT (línea continua, LFE (línea segmentada) de cada planta del Modelo 2 (medidas en mm).

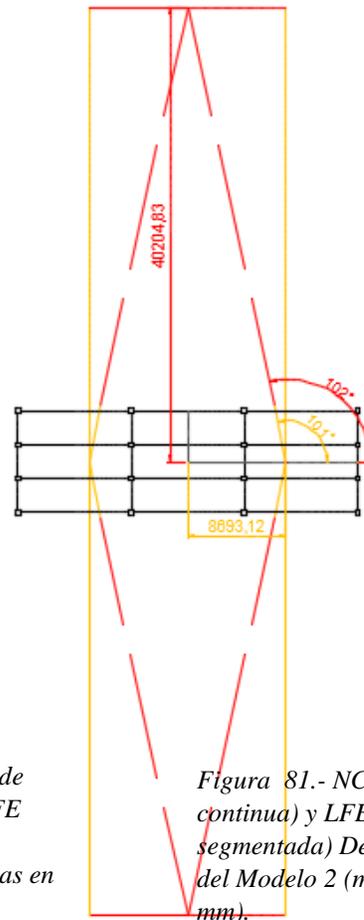


Figura 81.- NCT (línea continua) y LFE (línea segmentada) Definitorios del Modelo 2 (medidas en mm).

Claramente se pudo observar que el NCT Definitorio es mucho más grande que el obtenido en el Modelo 1, debido a que los pórticos perimetrales superiores e inferiores se encuentran dentro de la Elipse de Culmann. Para este caso el NCT predominante en horizontal fue el NCT_{P2} y en vertical el NCT_{P1} , es importante recordar que igualmente en este caso el límite físico de posición del Eje de Masa son los pórticos perimetrales superior e inferior.

4.4.9. Límite de Fuerza Excéntrica Multiplantar. Modelo 2.

Como se explicó anteriormente en el Modelo 1, se procede a determinar el LFE en cada una de las plantas del modelo 2, donde se pudo verificar nuevamente un comportamiento bastante uniforme debido a la regularidad de la estructura. Al superponer dichos límites de cada piso (*ver Figura 80*), se evidencia que existe un LFE Definitorio (*ver Figura 81*), es importante recordar que el LFE Definitorio determina la dirección y posición de la función de carga para que no se genere un CIR dentro de cualquiera de las plantas de la estructura.

4.4.10. CIR en las diferentes plantas de la estructura. Modelo 2.

Observando la *Figura 82*, para el Modelo 2 existen puntos que se ubican fuera del LFE Definitorio, los cuales generan CIR dentro de la planta cuando se aplica una función de carga.

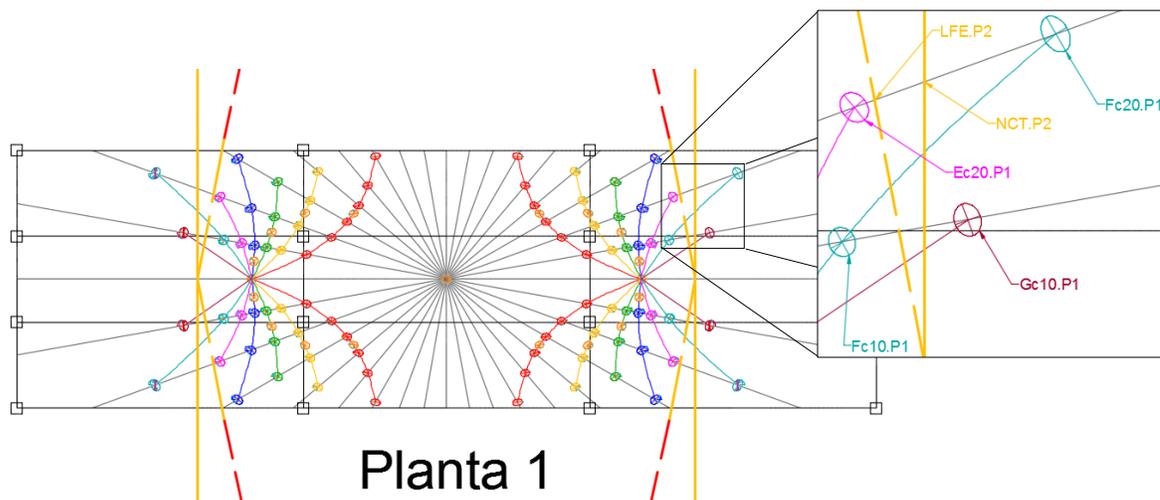


Figura 82.- Posición de los Puntos Característicos en la planta 1 del Modelo 2 con respecto al LFE Definitorio y NCT Definitorio.

Se determinó en estos puntos las zonas de LAF que generan dichos CIR, utilizando las rectas p en cada una de las plantas de la misma manera que en el Modelo anterior, como se muestra en la figura a continuación, donde es importante aclarar que el análisis y explicación de los puntos $G_{C10.P1}$ y $E_{C20.P1}$ del Modelo 2, se encuentran en el *Anexo N°8*.

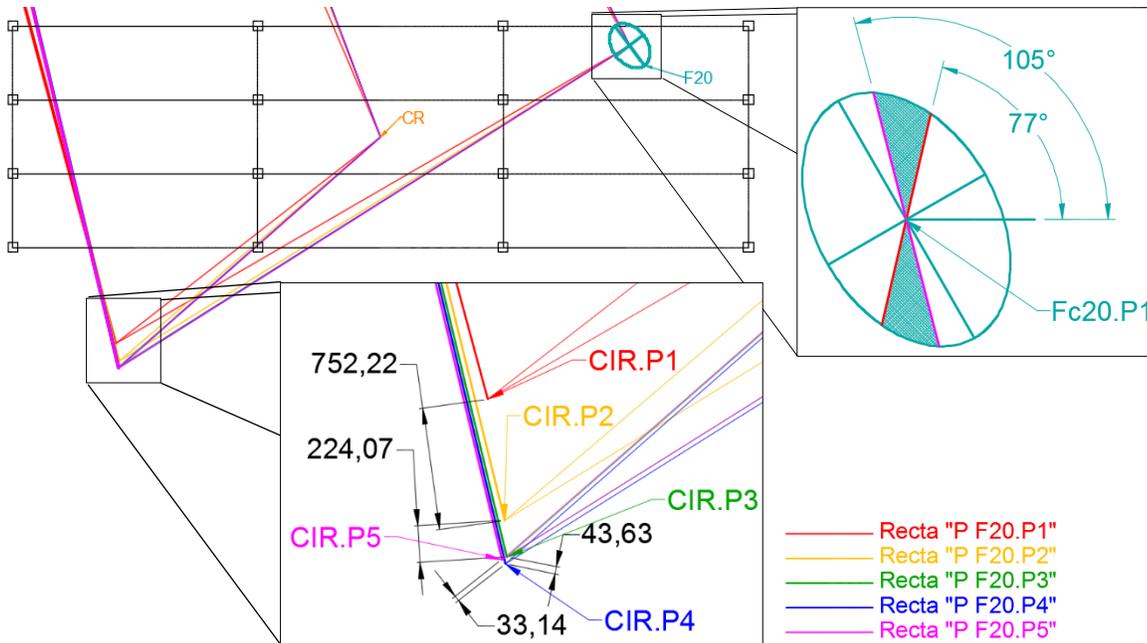


Figura 83.- Posición de los CIR, Rectas P del Punto F_{20} en todas las Plantas del Modelo 2. Direcciones de Carga Sísmica que generan CIR dentro de la Planta. (Medidas en mm).

A partir de la imagen anterior también se puede corroborar el comportamiento de los CIR en plantas consecutivas como se explicó en el Modelo 1, observando que la separación entre estos disminuye con la altura, siendo más uniformes en los últimos pisos.

4.5. Posibles Vulnerabilidades.

4.5.1. Factores de Amplificación Torsional. Modelo 3.

Para identificar vulnerabilidades en una estructura producto de la incidencia de cargas sísmicas excéntricas, es propicio determinar factores de amplificación torsional (FAT), los cuales en este TEG fueron calculados mediante la relación de los esfuerzos cortantes en

columnas que se generan por efectos de flexotorsión y por los efectos más extremos de traslación pura.

Un *efecto extremo de traslación pura* se refiere a la condición en donde la dirección de la aplicación de una fuerza en el CR produce la mayor concentración de esfuerzo cortante en un eje local de una o varias columnas de la planta en estudio, en comparación con otras direcciones de fuerza.

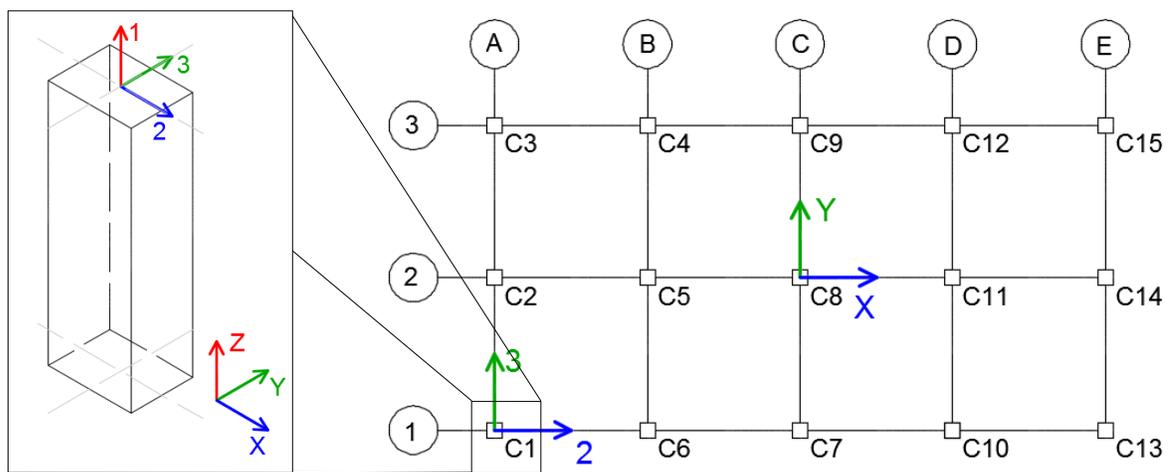


Figura 84.- Nomenclatura y Dirección de los Ejes Locales de cada una de las columnas de las plantas del Modelo 3.

Se determinó en el Modelo 3 que los ejes principales de desplazamientos del CR son las direcciones que producen los efectos extremos de traslación pura en cada una de las plantas, generando los mayores cortantes V_2 y V_3 en las columnas, los cuales se encuentran tabulados en el *Anexo N°10*. Esto fue muy evidente para este Modelo ya que:

- Al aplicar una carga sísmica “F” en el CR paralela a su eje principal mayor de desplazamiento, se generan cortantes concentrados solo en la dirección 3 de los ejes locales de las columnas.
- Igualmente si se aplica la misma carga “F” en dirección al eje principal menor del CR, se generan cortantes solo en la dirección 2 de ejes locales de las columnas.

- Sin embargo, al aplicar la carga “F” oblicua a los ejes principales de desplazamiento del CR, se generan en las columnas cortantes V2 y V3, los cuales son menores a los que se producen en los casos anteriores. Esto se debe a que dicha carga se puede representar como proyecciones en dos componentes paralelas a los ejes del CR, por ende, estas fuerzas generan casos muy parecidos a los dos puntos anteriores, con la diferencia de que al tratarse de proyecciones, los efectos serán menores a los que se producen cuando F es aplicada en su totalidad en una de las direcciones principales del CR.

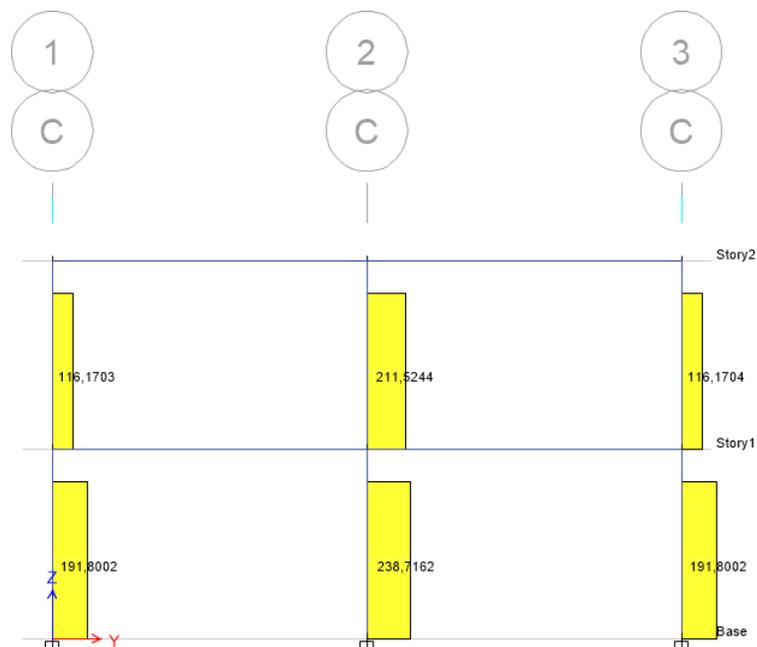


Figura 85.- Esfuerzos Cortantes V3 (Pórtico C) cuando se aplica la carga sísmica en el CR paralela a la dirección del eje menor de desplazamientos (Eje Y). Modelo 3 (Resultados en Tonf).

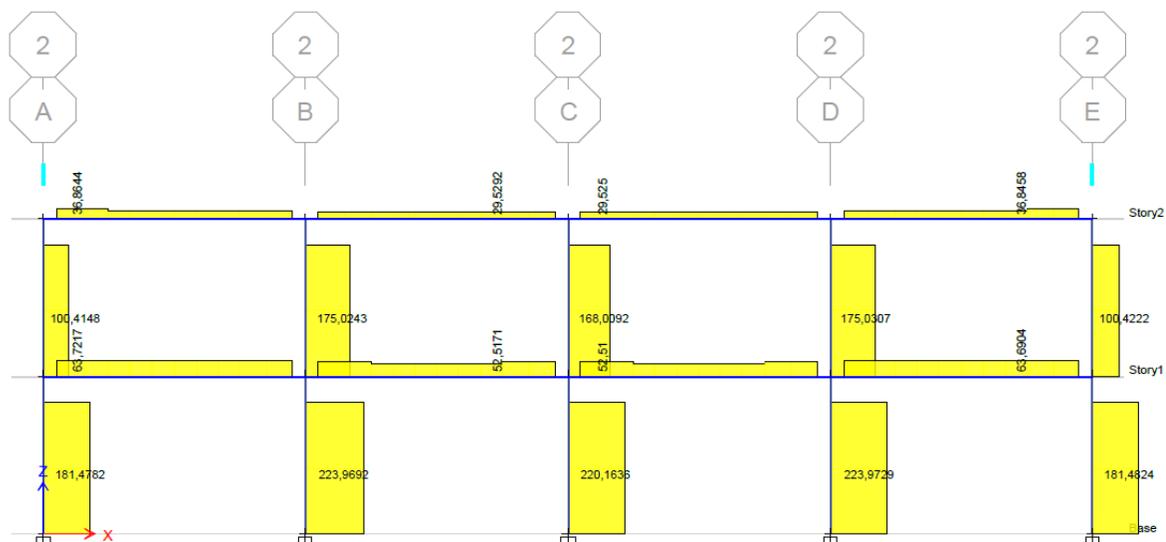


Figura 86.- Esfuerzos Cortantes V2 (Pórtico 2) cuando se aplica la carga sísmica en el CR paralela a la dirección del eje menor de desplazamientos (Eje X). Modelo 3 (Resultados en Tonf).

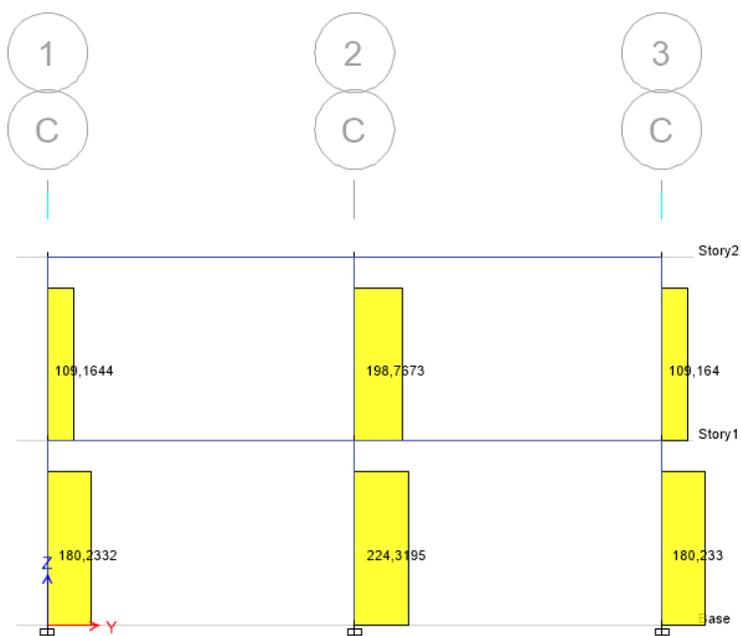


Figura 87.- Esfuerzos Cortantes V3 (Pórtico C) cuando se aplica la carga sísmica en el CR en dirección 70° respecto al Eje X. Modelo 3 (Resultados en Tonf).

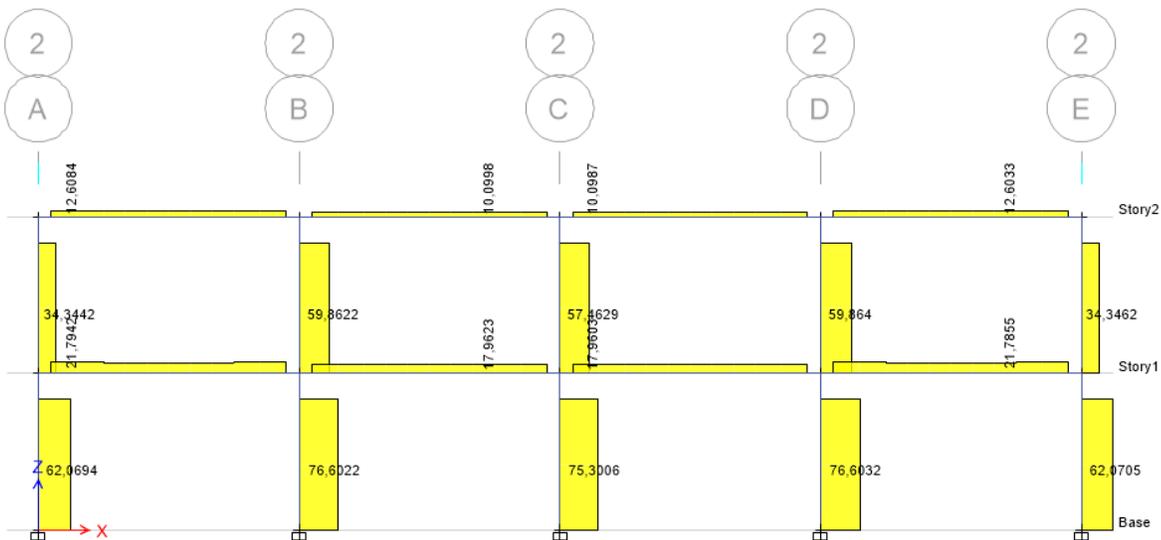


Figura 88.- Esfuerzos Cortantes V2 (Pórtico 2) cuando se aplica la carga sísmica en el CR en dirección 70° respecto al Eje X. Modelo 3 (Resultados en Tonf).

Cuando una función de carga se ubica en un punto excéntrico cualquiera de la estructura, se generan distintos FAT en cada dirección de fuerza rotante, por lo tanto, es importante determinar que LAF es la más desfavorable en una función de carga ubicada en dicho punto. Siendo este, uno de los enfoques más importantes en esta investigación, se analizaron diferentes efectos que posiblemente puedan influir en ello.

4.5.2. Efectos de CIR.

Una estructura bajo cargas sísmicas, tiene ciertos efectos producto de las fuerzas cortantes que participan en cada planta, lo que ocasiona que sus elementos se deformen y por ende se generen desplazamientos en el sistema, formándose así centros instantáneos de rotación o CIR, particularmente un CIR por planta, ya que la estructura modelada está conformada por diafragmas rígidos.

En la búsqueda de efectos desfavorables a este sistema estructural, se analizó si efectivamente hay alguna relación entre la magnificación de los esfuerzos cortantes en las columnas y las posiciones de los CIR en cada planta. Investigaciones anteriores sugieren que los efectos más desfavorables pueden surgir cuando los CIR están cercanos al CR y

específicamente cuando estos entran en la planta ya que en ese caso habrá mayor efecto de la torsión.

Para ello, se modelaron seis casos distintos repartidos en dos radiales diferentes como se puede apreciar en la **Figura 89**, estos casos están ubicados, en el límite del LFE (caso 1), fuera del LFE pero dentro del NCT (caso 2) y en el límite del NCT (caso 3). En cada uno de los casos se delimitaron zonas dentro de las cuales al aplicar una LAF se generan CIR dentro de la planta, para luego modelar cargas sísmicas con direcciones dentro de estas zonas que posiblemente generen altos FAT. Cabe destacar que la determinación de las Elipses de Desplazamiento de los puntos, así como también las Elipse de Rigidez y de Culmann del CR se encuentran en el **Anexo N°9**.

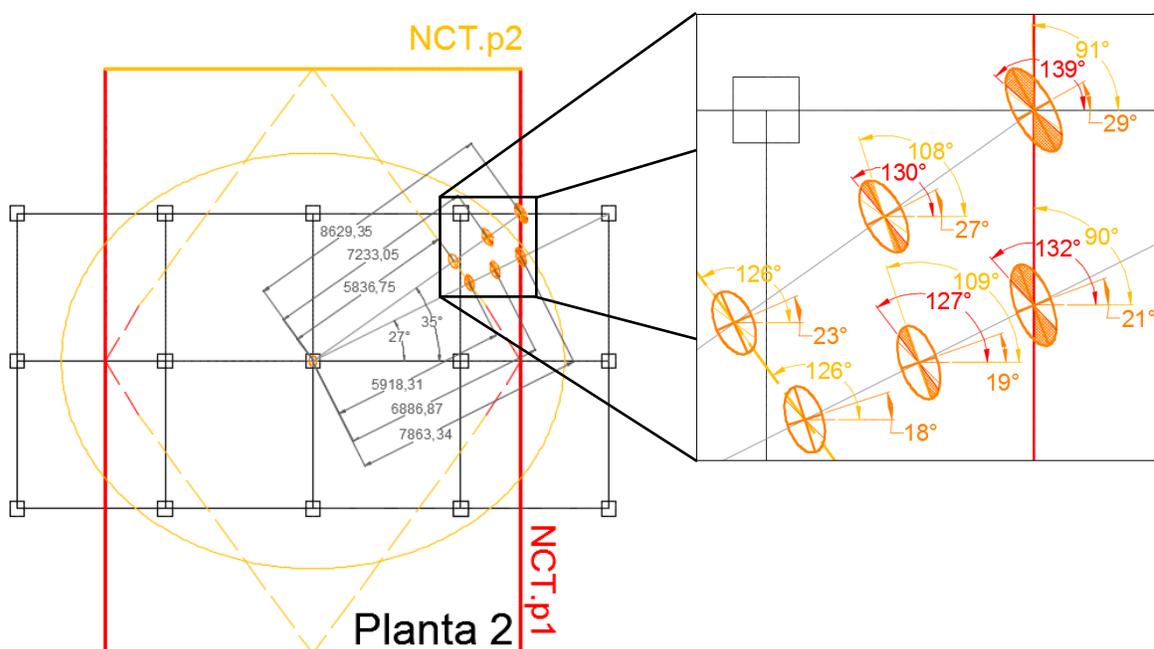


Figura 89.- Superposición de Ubicación de los puntos para los casos 1,2 y 3; NCT y LFE definitorios, Elipse de Culmann y Direcciones de Carga Sísmica que generan CIR dentro de la Planta. Modelo 3 (Medidas en mm).

Las direcciones de las LAF modeladas en cada caso son las siguientes:

- 126°: Esta LAF corresponde a la dirección del límite de LFE Definitorio, el cual a su vez se encuentra dentro de la zona de LAF que producen CIR dentro de la planta en los puntos que se encuentran en el límite o fuera del LFE.
- 135° y 145°: Estas direcciones de cargas sísmicas puede que no generen CIR dentro de la planta, sin embargo, producen los CIR más cercanos al CR en el nivel 2 para los seis casos estudiados, y fueron definidas a través de las *rectas p* de cada punto, al trazar una recta normal a estas que pase por el CR se forman intersecciones en cada *recta p* cuyos puntos corresponden al CIR más cercano al CR de la planta en cada caso, como se puede observar en las **Figuras 90 y 91**.

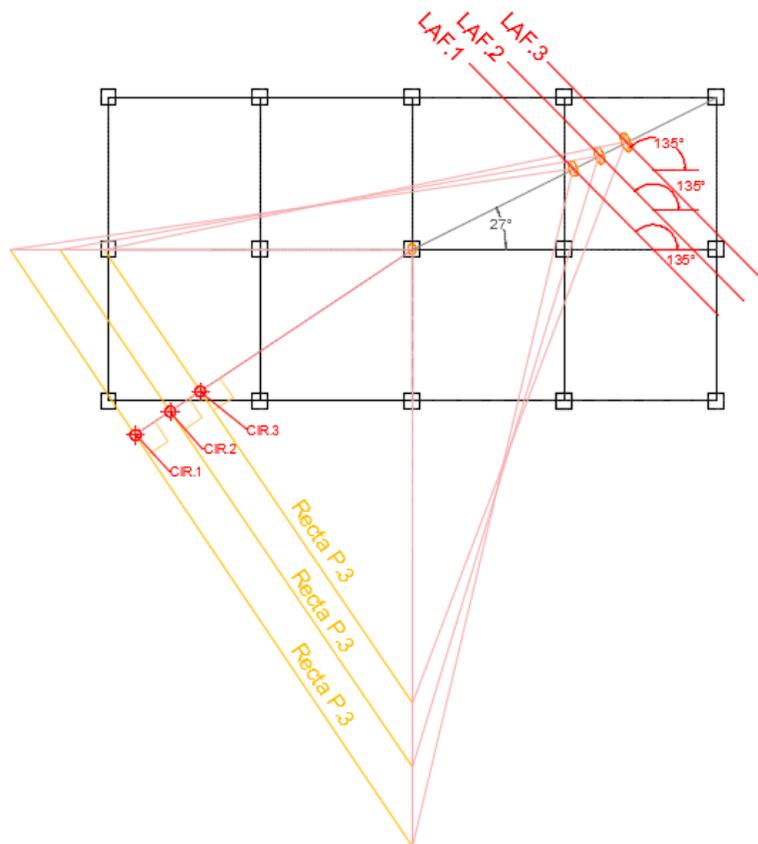


Figura 90.- Fuerza que genera CIR más cercano al CR, para los puntos sobre la radial L_{27} .

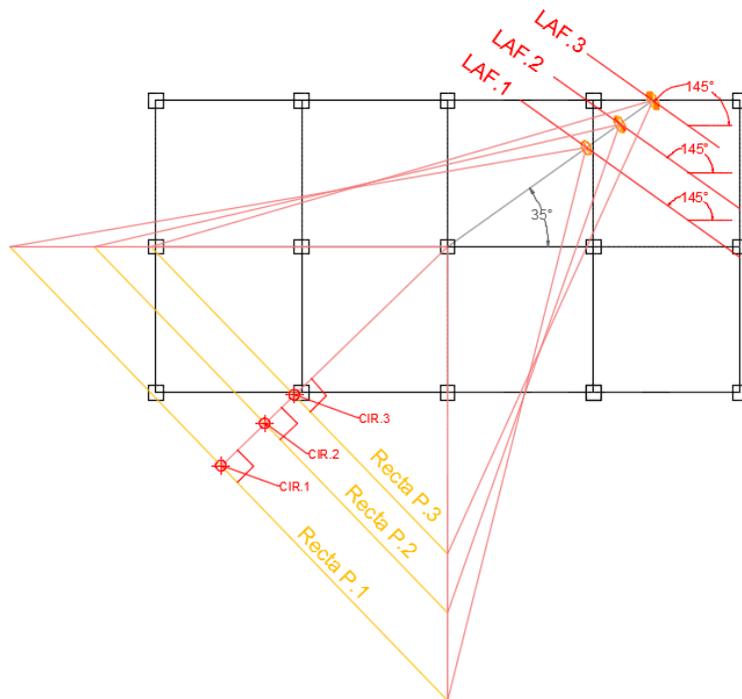


Figura 91.- Fuerza que genera CIR más cercano al CR, para los puntos sobre la radial L_{35} .

4.5.3. Efectos de otras LAF.

Para determinar otras direcciones de fuerzas que puedan ser perjudiciales en la estructura, así como también la relación que tienen los FAT con los dos núcleos estudiados previamente (LFE, NCT), se modelaron LAF adicionales a las estudiadas en el punto anterior en los seis casos mencionados, de forma tal que se defina en cada caso, cual es la dirección de la LAF que produce los efectos flexotorsionales más desfavorables, es decir, los mayores FAT.

Las LAF adicionales son las siguientes:

- 0° y 90° : Estas direcciones de fuerza representan los efectos extremos de traslación pura más un efecto torsional producto de la excentricidad de la ubicación del eje de masas en estudio.

- Eje mayor de la elipse de desplazamientos: Esta dirección de fuerza, la cual es diferente en cada caso, genera el mayor vector de desplazamiento del punto del eje de masas con una combinación de altos módulos de torsión y traslación.
- Ejes menores de la elipse de desplazamiento: los vectores de desplazamiento que se generan en estas direcciones no son los más desfavorables pero las respuestas generadas pueden servir para tener más información del fenómeno estudiado.

Al comparar los resultados obtenidos en cada caso producto de las LAF modeladas, se puede encontrar un patrón común que identifique una vulnerabilidad, que permita obtener información sobre la dirección de la LAF que genere los efectos de flexotorsión más desfavorables.

Tabla 13.- Esfuerzos Cortantes y FAT en la planta 1, correspondientes al Caso 2 sobre la radial L₂₇, al aplicar una Carga Sísmica Tipo 1 en la dirección de mayor desplazamiento (108°).

Columna	V2	V3	FAT	FAT
	tonf	tonf	V2	V3
C1	6,801	3,373	0,196	0,095
C2	-11,216	4,264	-0,309	0,100
C3	-28,246	3,519	-0,814	0,100
C4	-35,105	20,200	-0,822	0,527
C5	-13,842	25,294	-0,309	0,530
C6	8,710	20,252	0,204	0,528
C7	8,667	36,483	0,206	0,951
C8	-13,607	45,407	-0,309	0,951
C9	-34,673	36,483	-0,824	0,951
C10	8,892	52,688	0,208	1,374
C11	-13,842	65,444	-0,309	1,372
C12	-35,287	52,740	-0,826	1,375
C13	5,612	63,854	0,162	1,807
C14	-11,216	76,929	-0,309	1,802
C15	-27,057	63,708	-0,780	1,803

Tabla 14.- Esfuerzos Cortantes y FAT en la planta 2, correspondientes al Caso 2 sobre la radial L₂₇, al aplicar una Carga Sísmica Tipo 1 en la dirección de mayor desplazamiento (108°).

Columna	V2	V3	FAT	FAT
	tonf	tonf	V2	V3
C1	6,540	2,031	0,379	0,119
C2	-6,206	4,332	-0,309	0,132
C3	-17,210	2,308	-0,997	0,135
C4	-29,928	12,699	-0,947	0,548
C5	-10,818	23,208	-0,309	0,550
C6	10,392	12,797	0,329	0,552
C7	10,223	22,097	0,337	0,951
C8	-10,384	40,234	-0,309	0,951
C9	-28,989	22,097	-0,955	0,951
C10	10,798	31,286	0,342	1,350
C11	-10,818	57,086	-0,309	1,352
C12	-30,334	31,385	-0,960	1,354
C13	4,052	30,416	0,235	1,783
C14	-6,206	58,310	-0,309	1,771
C15	-14,722	30,138	-0,853	1,767

En las **Tablas 13 y 14**, se pueden apreciar los esfuerzos cortantes en las columnas de ambas plantas del modelo 3, así como también los mayores FAT obtenidos, cuando se aplicó la carga sísmica en dirección 108° para el caso 1, cabe destacar, que para este caso, esta dirección es la que genera los mayores FAT, la cual corresponde con la dirección de mayor desplazamiento de dicho punto. Es importante aclarar que el resto de las tablas de los seis casos analizados aplicando las direcciones de carga sísmica anteriormente indicadas se encuentran en el **Anexo N°11**.

4.5.4. Análisis de Casos Estudiados en Modelo 3.

Al observar los resultados obtenidos en las tablas presentes en el **Anexos N°11**, se definió toda una serie de propiedades en la estructura, las cuales se presentan a continuación:

- Los mayores esfuerzos cortantes registrados en la dirección 3 de los ejes locales de las columnas fueron generados cuando la LAF es paralela al eje principal de mayor desplazamiento en todos los casos estudiados, esta LAF también produce el mayor factor de amplificación torsional global de la estructura.
- Se pudo determinar gracias al punto anterior que una LAF produce grandes vulnerabilidades cuando esta tiene una combinación de grandes efectos de traslación y torsión.
- No se encontró ninguna analogía en cuanto a esfuerzos cortantes, que indique que los CIR que se forman dentro de la planta o en una posición muy cercana al CR, presenten una magnificación importante de estos esfuerzos en las columnas, por lo tanto, no se justifica la aplicación del LFE para este caso ya que los mayores FAT generados cuando cargas sísmicas son aplicadas en su límite y fuera de este (dentro del NCT) son menores al esperado (FAT = 2).
- El NCT demostró en esta estructura que al aplicar la LAF más desfavorable (determinada en los puntos anteriores), se generan FAT mayores al esperado superándolo en 3%.
- Las fuerzas aplicadas en cada caso, paralelas al eje principal de menor desplazamiento no generan FAT que determinen alguna vulnerabilidad en este caso.

- Bajo efectos de flexotorsión los mayores esfuerzos se encuentran en la periferia de las plantas, por ende, los elementos de los pórticos que conforman la periferia, serán los más solicitados.

Capítulo 5 – Conclusiones.

1. Se pudo observar en los modelos realizados, que las plantas en cada estructura (diafragmas rígidos) responden bajo un comportamiento común ante la incidencia de cargas sísmicas, ya que las funciones de respuesta en los puntos de los ejes de masas en estudio formaron elipses, independientemente que la función de carga sea excéntrica o no respecto al CR.

Este comportamiento común entre las plantas de la estructura se pudo definir con mayor detalle al determinar cómo es la distribución de puntos característicos, los cuales en resumen muestran gráficamente como es el cambio en la forma de las funciones de respuesta a medida que las funciones de carga aumentan su excentricidad al CR. Adicionalmente, se demostró que las elipses de desplazamientos formadas en cada eje de masas cambian su inclinación y tamaño de planta a planta a pesar de la regularidad de la estructura y de la carga sísmica aplicada, lo cual es muy lógico ya que cada planta tiene una rigidez torsional y rigideces traslacionales propias, por ende se puede decir que el cambio de estas cónicas será mayor si hay modificaciones en la configuración estructural de un nivel a otro.

2. Al estudiar los módulos de torsión y traslación de las elipses de desplazamiento en las plantas de cada modelo, se puede decir que las ubicaciones más favorables de los centros de masas de la estructura se encuentran dentro de la Lemniscata de Bernoulli, ya que en este caso los mayores módulos de torsión se ubican en la dirección fuerte de la elipse; es decir, en el eje de menor desplazamiento, y por lo tanto, en el eje de mayor desplazamiento (eje débil) se generan efectos muy similares a la traslación pura. Por otro lado, los centros de masas que se ubican fuera de la Lemniscata muestran un comportamiento más desfavorable para la estructura ya que los mayores módulos de torsión se ubican en el eje mayor de su elipse de desplazamiento (eje débil), el cual tiene una combinación de grandes módulos de traslación y torsión.

Las propiedades encontradas en la lemniscata de Bernoulli son muy importantes, ya que no solo delimita un área de mejor comportamiento estructural para la ubicación de los centros

de masas, sino que también muestra una manera gráfica de relacionar las rigideces torsionales y traslacionales de cada planta de la estructura, siendo esto una herramienta de optimización que puede determinar un correcto balance entre la rigidez torsional y las rigideces traslacionales, indicando de esta manera si existe sobrediseño o no en los elementos de la estructura, lo que se traduce en mayores costos o en comportamientos inadecuados, respectivamente.

3. Se demostró en las estructuras estudiadas que a través de las relaciones polo – polar de las elipses de Culmann de cada planta se puede relacionar de una forma simple las LAF con su CIR correspondiente, por lo tanto se hizo posible evitar que estos CIR se generen dentro de las plantas. Dichos límites de excentricidad forman LFE diferentes en cada nivel de la estructura, lo cual es lógico ya que los CIR formados bajo una misma carga sísmica no coinciden en una vertical. Por ende se determinó el LFE Definitorio de manera que se limite la excentricidad del eje de masas para que se cumplan las condiciones ya señaladas.

De manera similar a través de la elipse de Culmann se obtuvo en cada planta en estudio el NCT con $FAT = 2$. Adicionalmente como se pudo observar en cada modelo estos varían sus dimensiones de planta a planta; por lo tanto, se determinó el NCT definitorio que delimita excentricidades máximas de la LAF en todas las plantas para que las cargas sísmicas actuantes no generen FAT mayores al esperado en ninguna de las columnas de la estructura.

A través de las dos afirmaciones anteriores, se puede concluir que los núcleos (NCT, LFE) utilizados en investigaciones anteriores para estructuras monoplantares también pueden aplicarse de una forma simple en estructuras de múltiples plantas. Esto es muy útil ya que de esta forma se delimitan zonas que indican en qué grado la excentricidad actúa ante el efecto de flexotorsión.

4. En los tres casos estudiados del Modelo 3, se determinó que los mayores FAT generados en los puntos que se encuentran dentro del NCT no igualaron el $FAT = 2$, mientras que los puntos que se encuentran en el límite del NCT exceden alrededor de un 3% el $FAT = 2$ cuando en ellos incide la dirección de carga sísmica más desfavorable, por ende se recomienda

al ingeniero tener presente que cuando el CM se encuentra fuera o en el límite de dicho núcleo la estructura presentará FAT mayores al esperado lo que representa una vulnerabilidad para los elementos estructurales.

5. Se observó que el mayor módulo de torsión posible producto de una carga sísmica se genera cuando la carga actuante es normal a la radial que contiene al CM, sin embargo este efecto no se produce en simultáneo con los efectos más extremos de traslación pura. Esto explica que la mayor magnificación de los esfuerzos a causa de la flexotorsión viene dada por una combinación de grandes módulos de torsión y traslación, por ende, tiene sentido que los resultados obtenidos en todos los casos estudiados presentan la dirección del eje principal de mayor desplazamiento de la elipse del punto como la más desfavorable.

Con respecto a las LAF que generan CIR dentro de la planta o muy cerca del CR, las cuales investigaciones anteriores identificaron como las más desfavorables, no presentan los FAT que producen la mayor magnificación de los esfuerzos en columnas, ya que la dirección de la LAF que generó los mayores FAT en todos los casos estudiados fue la paralela a los ejes de mayor desplazamiento de las elipses de cada punto como se mencionó anteriormente. Por lo tanto, estas posiciones de CIR no son determinantes para definir la mayor vulnerabilidad en las columnas, sin embargo, puede que exista alguna otra analogía que relacione la posición de los CIR con la dirección de las LAF más desfavorables.

La LAF más desfavorable en todos los casos modelados, afectaron en mayor medida a los pórticos de la periferia, es decir que los mayores FAT se concentraron en las columnas que conforman dichos pórticos. Esto corrobora la teoría de que los pórticos más afectados en la estructura bajo el efecto de flexotorsión son los más externos.

Capítulo 6 – Recomendaciones.

- Se recomienda seguir comprobando que estos patrones o perfiles de respuesta se cumplen en otras estructuras de múltiples plantas geoméricamente distintas a las estudiadas en este TEG.
- Estudiar estructuras que modifiquen su configuración en vertical, de manera que se determine como es el cambio de las funciones de respuesta de una planta a otra.
- Definir las funciones de respuesta que se generan en cada planta ante la incidencia de cargas sísmicas cuando los centros de masas no son coincidentes en una vertical.

Comprender de una manera más profunda las propiedades de la Lemniscata de Bernoulli puede servir para generar nuevas líneas de investigación referentes a la optimización de estructuras, por ende, se recomienda:

- Determinar el área optima que debe contener la Lemniscata de Bernoulli, de manera que se pueda cuantificar un exceso innecesario de rigidez torsional o traslacional en las plantas de la estructura en estudio.
- Determinar ecuaciones que definan a la Lemniscata de Bernoulli de cada planta de la estructura de manera que facilite el proceso de obtención de la misma.
- Definir una relación directa entre la posición de los CIR y las LAF más desfavorables en la estructura, bajo la condición en que los CM no coincidan en una vertical.
- Modelar en otras configuraciones estructurales, LAF con una dirección paralela al eje principal de mayor desplazamiento de la elipse del punto excéntrico, de modo que se demuestre que este comportamiento puede definirse como un patrón de respuesta que se repite en otros sistemas.
- Determinar FAT a través de otros efectos como esfuerzos axiales.
- Estudiar los perfiles de respuesta que se puedan generar en diafragmas flexibles en estructuras monoplantares, de manera que se genere una investigación que sirva como base para estudios en estructuras multiplantares con diafragmas flexibles.

Bibliografía

- Arandia, A. y Medina, C. (2007). *Rigideces de una planta para edificios con pórticos ortogonales y no ortogonales, estudio de las interacciones entre las rigideces traslacionales y torsionales de una planta de edificio*. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil. Universidad Católica Andrés Bello.
- Carmona, A. y Acosta, E. (2009). *Estrategias para la optimización en estructura irregulares en plantas*. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil. Universidad Católica Andrés Bello.
- Goncalves, E. (2008). *Flexo-torsión en edificios monoplantares y sus elipses de elasticidad*. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil. Universidad Metropolitana.
- Gonzales, M. y Paredes, F. (2013). *Análisis y comparación del comportamiento estructural, bajo acciones sísmicas multidireccionales, mediante el uso de formas cónicas asociadas*. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil. Universidad Católica Andrés Bello.
- Norma Venezolana, COVENIN 1756-1:2001. *Edificaciones Sismorresistentes, Requisitos y Comentarios*. Fondonorma. Caracas.
- Norma Venezolana, COVENIN 2004:1998. *Terminología de las normas COVENIN-MINDUR de edificaciones*. Fondonorma. Caracas.
- Parodi, S. y Reyes, M. (2012). *Descripción de las propiedades de las estructuras antes fuerzas horizontales excéntricas mediante elipses plantares. Estudio de desplazamientos*. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil. Universidad Católica Andrés Bello.
- Paparoni, M. (1991). *Dimensionamiento de edificios altos de concreto armado*. SIDETUR, Caracas.
- Paz, O. y Peña, O. (2011). *Configuraciones estructurales extremas. Una búsqueda de variables sistémicas definitorias; las elipses plantares*. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil. Universidad Católica Andrés Bello.

ANEXOS

TEG: Identificación de Vulnerabilidades en Estructuras Bajo Efectos Flexotorsionales mediante Estudios de Desplazamientos. Elipses Multiplantares.
Anexos

Anexo N°1: Desplazamiento de los CR (Caso 1) del Modelo 1.

Tabla N°1.1

Planta 1			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	70,943	0	70,94
F10	69,864	16,184	71,71
F20	66,663	31,877	73,89
F30	61,437	46,602	77,11
F40	54,344	59,91	80,89
F50	45,6	71,398	84,72
F60	35,47	80,717	88,17
F70	24,263	87,583	90,88
F80	12,318	91,788	92,61
F90	0	93,204	93,20
F100	-12,319	91,788	92,61
F110	-24,264	87,583	90,88
F120	-35,471	80,717	88,17
F130	-45,601	71,399	84,72
F140	-54,345	59,911	80,89
F150	-61,437	46,602	77,11
F160	-66,663	31,878	73,89
F170	-69,864	16,184	71,71
F180	-70,943	0	70,94

Tabla N°1.2

Planta 2			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	171,785	0	171,79
F10	169,171	42,155	174,34
F20	161,421	83,03	181,52
F30	148,766	121,383	192,00
F40	131,591	156,048	204,13
F50	110,417	185,971	216,28
F60	85,889	210,243	227,11
F70	58,751	228,127	235,57
F80	29,828	239,08	240,93
F90	0	242,769	242,77
F100	-29,831	239,081	240,93
F110	-58,754	228,128	235,57
F120	-85,892	210,245	227,11
F130	-110,42	185,973	216,28
F140	-131,593	156,05	204,13
F150	-148,767	121,386	192,01
F160	-161,422	83,033	181,53
F170	-169,171	42,155	174,34
F180	-171,785	0	171,79

Tabla N°1.3

Planta 3			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	262,498	0	262,50
F10	258,503	66,509	266,92
F20	246,66	130,999	279,29
F30	227,323	191,509	297,24
F40	201,078	246,2	317,88
F50	168,724	293,411	338,46
F60	131,243	331,706	356,73
F70	89,775	359,923	370,95
F80	45,579	377,204	379,95
F90	0	383,023	383,02
F100	-45,584	377,204	379,95
F110	-89,78	359,925	370,95
F120	-131,248	331,709	356,73
F130	-168,728	293,414	338,47
F140	-201,081	246,204	317,88
F150	-227,325	191,514	297,24
F160	-246,662	131,004	279,29
F170	-258,503	66,509	266,92
F180	-262,498	0	262,50

Tabla N°1.4

Planta 4			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	331,352	0	331,35
F10	326,309	85,364	337,29
F20	311,36	168,137	353,86
F30	286,951	245,802	377,84
F40	253,822	315,998	405,32
F50	212,981	376,592	432,65
F60	165,669	425,744	456,84
F70	113,323	461,96	475,66
F80	57,534	484,14	487,55
F90	0	491,609	491,61
F100	-57,541	484,141	487,55
F110	-113,329	461,963	475,66
F120	-165,675	425,748	456,85
F130	-212,986	376,597	432,65
F140	-253,826	316,003	405,32
F150	-286,954	245,807	377,84
F160	-311,363	168,143	353,86
F170	-326,309	85,364	337,29
F180	-331,352	0	331,35

Tabla N°1.5

Planta 5			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	371,98	0	371,98
F10	366,318	97,121	378,97
F20	349,536	191,296	398,46
F30	322,133	279,657	426,59
F40	284,943	359,522	458,75
F50	239,095	428,463	490,66
F60	185,982	484,385	518,86
F70	127,218	525,589	540,77
F80	64,588	550,824	554,60
F90	0	559,322	559,32
F100	-64,596	550,825	554,60
F110	-127,225	525,592	540,77
F120	-185,988	484,389	518,87
F130	-239,101	428,468	490,67
F140	-284,948	359,528	458,75
F150	-322,137	279,664	426,60
F160	-349,539	191,303	398,46
F170	-366,318	97,121	378,97
F180	-371,98	0	371,98

Anexo N°2: Desplazamientos Del Eje de Masa Excéntrico al CR (Caso 2) del Modelo 1.

Tabla N°2.1

Planta 1			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	78,422	-20,556	81,071
F10	73,661	5,749	73,885
F20	66,662	31,879	73,892
F30	57,638	57,040	81,091
F40	46,862	80,468	93,119
F50	34,662	101,451	107,209
F60	21,409	119,352	121,257
F70	7,506	133,626	133,837
F80	-6,625	143,840	143,992
F90	-20,556	149,683	151,088
F100	-33,861	150,979	154,730
F110	-46,138	147,687	154,726
F120	-57,013	139,908	151,079
F130	-66,155	127,877	143,976
F140	-73,288	111,962	133,816
F150	-78,194	92,644	121,232
F160	-80,723	70,511	107,182
F170	-80,800	46,236	93,094
F180	-78,422	20,556	81,071

Tabla N°2.2

Planta 2			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	190,932	-52,630	198,053
F10	178,892	15,437	179,557
F20	161,416	83,036	181,522
F30	139,038	148,110	203,146
F40	112,433	208,686	237,046
F50	82,413	262,920	275,534
F60	49,887	309,166	313,165
F70	15,847	346,016	346,379
F80	-18,675	372,353	372,821
F90	-52,630	387,378	390,937
F100	-84,985	390,632	399,770
F110	-114,758	382,016	398,880
F120	-141,045	361,795	388,316
F130	-163,046	330,579	368,601
F140	-180,093	289,319	340,792
F150	-191,668	239,268	306,571
F160	-197,418	181,947	268,475
F170	-197,171	119,098	230,349
F180	-190,932	52,630	198,053

Tabla N°2.3

Planta 3			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	292,406	-82,209	303,743
F10	273,689	24,775	274,808
F20	246,653	131,009	279,287
F30	212,128	233,259	315,290
F40	171,154	328,424	370,346
F50	124,980	413,609	432,079
F60	75,008	486,228	491,980
F70	22,758	544,070	544,546
F80	-30,184	585,382	586,160
F90	-82,209	608,909	614,433
F100	-131,737	613,934	627,909
F110	-177,260	600,304	625,928
F120	-217,399	568,437	608,591
F130	-250,932	519,295	576,744
F140	-276,840	454,376	532,069
F150	-294,337	375,650	477,229
F160	-302,889	285,511	416,243
F170	-302,240	186,697	355,253
F180	-292,406	82,209	303,743

Tabla N°2.4

Planta 4			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	369,473	-104,782	384,044
F10	345,665	32,171	347,159
F20	311,352	168,150	353,857
F30	267,584	299,015	401,262
F40	215,681	420,798	472,852
F50	157,225	529,795	552,632
F60	93,992	622,695	629,749
F70	27,905	696,670	697,229
F80	-39,031	749,482	750,498
F90	-104,782	779,519	786,530
F100	-167,349	785,872	803,493
F110	-224,830	768,346	800,565
F120	-275,481	727,477	777,890
F130	-317,761	664,500	736,568
F140	-350,386	581,334	678,763
F150	-372,366	480,504	607,898
F160	-383,029	365,075	529,142
F170	-382,056	238,554	450,416
F180	-369,473	104,782	384,044

Tabla N°2.5

Planta 5			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	415,082	-118,474	431,659
F10	388,203	36,978	389,960
F20	349,527	191,310	398,458
F30	300,236	339,825	453,456
F40	241,818	478,017	535,702
F50	176,054	601,684	626,912
F60	104,939	707,071	714,816
F70	30,638	790,968	791,561
F80	-44,595	850,837	852,005
F90	-118,474	884,853	892,749
F100	-188,753	891,983	911,735
F110	-253,295	872,009	908,052
F120	-310,142	825,545	881,880
F130	-357,566	753,991	834,479
F140	-394,125	659,530	768,319
F150	-418,710	545,028	687,294
F160	-430,569	413,967	597,293
F170	-429,349	270,328	507,364
F180	-415,082	118,474	431,659

Anexo N°3: Desplazamiento de los CR (Caso 1) del Modelo 2.

Tabla N°3.1

Planta 1			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	150,339	0,000	150,339
F10	148,055	19,365	149,316
F20	141,273	38,141	146,331
F30	130,198	55,758	141,635
F40	115,167	71,682	135,653
F50	96,636	85,427	128,982
F60	75,170	96,577	122,383
F70	51,419	104,792	116,727
F80	26,106	109,823	112,883
F90	0,000	111,517	111,517
F100	-26,106	109,823	112,883
F110	-51,419	104,792	116,727
F120	-75,170	96,577	122,383
F130	-96,636	85,427	128,982
F140	-115,167	71,682	135,653
F150	-130,198	55,758	141,635
F160	-141,273	38,141	146,331
F170	-148,055	19,365	149,316
F180	-150,339	0,000	150,339

Tabla N°3.2

Planta 2			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	358,089	0,000	358,089
F10	352,649	41,958	355,136
F20	336,493	82,641	346,493
F30	310,114	120,813	332,816
F40	274,312	155,315	315,230
F50	230,175	185,097	295,366
F60	179,044	209,255	275,399
F70	122,474	227,055	257,980
F80	62,181	237,956	245,946
F90	0,000	241,627	241,627
F100	-62,181	237,956	245,946
F110	-122,474	227,055	257,980
F120	-179,044	209,255	275,399
F130	-230,175	185,097	295,366
F140	-274,312	155,315	315,230
F150	-310,114	120,813	332,816
F160	-336,493	82,641	346,493
F170	-352,649	41,958	355,136
F180	-358,089	0,000	358,089

Tabla N°3.3

Planta 3			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	542,778	0,000	542,778
F10	534,532	61,997	538,115
F20	510,044	122,110	524,457
F30	470,059	178,512	502,814
F40	415,792	229,491	474,920
F50	348,891	273,497	443,312
F60	271,389	309,193	411,402
F70	185,641	335,494	383,430
F80	94,252	351,601	364,015
F90	0,000	357,025	357,025
F100	-94,252	351,601	364,015
F110	-185,641	335,494	383,430
F120	-271,389	309,193	411,402
F130	-348,891	273,497	443,312
F140	-415,792	229,491	474,920
F150	-470,059	178,512	502,814
F160	-510,044	122,110	524,457
F170	-534,532	61,997	538,115
F180	-542,778	0,000	542,778

Tabla N°3.4

Planta 4			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	681,752	0,000	681,752
F10	671,395	77,579	675,862
F20	640,638	152,802	658,608
F30	590,415	223,381	631,260
F40	522,253	287,173	596,000
F50	438,222	342,240	556,028
F60	340,876	386,908	515,649
F70	233,173	419,819	480,227
F80	118,385	439,975	455,624
F90	0,000	446,763	446,763
F100	-118,385	439,975	455,624
F110	-233,173	419,819	480,227
F120	-340,876	386,908	515,649
F130	-438,222	342,240	556,028
F140	-522,253	287,173	596,000
F150	-590,415	223,381	631,260
F160	-640,638	152,802	658,608
F170	-671,395	77,579	675,862
F180	-681,752	0,000	681,752

Tabla N°3.5

Planta 5			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	761,844	0,000	761,844
F10	750,270	87,101	755,309
F20	715,899	171,555	736,167
F30	659,776	250,797	705,835
F40	583,606	322,418	666,745
F50	489,704	384,243	622,456
F60	380,922	434,392	577,753
F70	260,566	471,343	538,571
F80	132,293	493,973	511,381
F90	0,000	501,593	501,593
F100	-132,293	493,973	511,381
F110	-260,566	471,343	538,571
F120	-380,922	434,392	577,753
F130	-489,704	384,243	622,456
F140	-583,606	322,418	666,745
F150	-659,776	250,797	705,835
F160	-715,899	171,555	736,167
F170	-750,270	87,101	755,309
F180	-761,844	0,000	761,844

Anexo N°4: Desplazamientos de los puntos sobre el Eje de Masa Excéntrico al CR (Caso 2) del Modelo 2.

Tabla N°4.1

Planta 1			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	156,628	-17,279	157,578
F10	151,248	10,592	151,619
F20	141,273	38,141	146,331
F30	127,005	64,531	142,459
F40	108,878	88,960	140,600
F50	87,442	110,687	141,059
F60	63,350	129,050	143,761
F70	37,333	143,492	148,269
F80	10,182	153,574	153,911
F90	-17,279	158,990	159,926
F100	-44,214	159,575	165,587
F110	-69,807	155,311	170,278
F120	-93,278	146,328	173,530
F130	-113,915	132,900	175,040
F140	-131,091	115,433	174,670
F150	-144,283	94,459	172,453
F160	-153,092	70,614	168,593
F170	-157,249	44,624	163,458
F180	-156,628	17,279	157,578

Tabla N°4.2

Planta 2			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	371,847	-37,802	373,764
F10	359,634	22,766	360,354
F20	336,493	82,641	346,493
F30	303,129	140,006	333,899
F40	260,553	193,116	324,318
F50	210,061	240,359	319,215
F60	153,187	280,299	319,427
F70	91,657	311,722	324,918
F80	27,343	333,673	334,792
F90	-37,802	345,486	347,548
F100	-101,798	346,802	361,433
F110	-162,701	337,579	374,742
F120	-218,661	318,100	386,006
F130	-267,977	288,956	394,090
F140	-309,150	251,032	398,234
F150	-340,930	205,480	398,065
F160	-362,351	153,685	393,595
F170	-372,762	97,220	385,232
F180	-371,847	37,802	373,764

Tabla N°4.3

Planta 3			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	563,135	-55,932	565,906
F10	544,867	33,599	545,902
F20	510,044	122,110	524,457
F30	459,723	206,910	504,140
F40	395,434	285,423	487,683
F50	319,130	355,264	477,552
F60	233,129	414,310	475,396
F70	140,045	460,767	481,580
F80	42,705	493,225	495,070
F90	-55,932	510,696	513,749
F100	-152,869	512,650	534,957
F110	-245,162	499,027	555,996
F120	-330,006	470,241	574,483
F130	-404,822	427,168	588,518
F140	-467,339	371,115	596,768
F150	-515,655	303,786	598,487
F160	-548,303	227,227	593,522
F170	-564,292	143,763	582,317
F180	-563,135	55,932	565,906

Tabla N°4.4

Planta 4			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	707,206	-69,933	710,655
F10	684,318	42,073	685,610
F20	640,638	152,802	658,608
F30	577,492	258,887	632,866
F40	496,799	357,106	611,829
F50	401,011	444,475	598,639
F60	293,039	518,339	595,439
F70	176,163	576,453	602,770
F80	53,934	617,052	619,405
F90	-69,933	638,902	642,718
F100	-191,676	641,340	669,370
F110	-307,594	624,290	695,954
F120	-414,167	588,272	719,443
F130	-508,155	534,380	737,416
F140	-586,703	464,250	748,164
F150	-647,425	380,015	750,713
F160	-688,475	284,233	744,839
F170	-708,606	179,815	731,065
F180	-707,206	69,933	710,655

Tabla N°4.5

Planta 5			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δtotal (mm)
F0	790,366	-78,366	794,242
F10	764,751	47,313	766,213
F20	715,899	171,555	736,167
F30	645,295	290,584	707,703
F40	555,083	400,784	684,649
F50	448,006	498,806	670,460
F60	327,316	581,672	667,442
F70	196,681	646,864	676,104
F80	60,070	692,402	695,003
F90	-78,366	716,901	721,172
F100	-214,421	719,618	750,884
F110	-343,961	700,470	780,363
F120	-463,050	660,038	806,266
F130	-568,069	599,551	825,932
F140	-655,829	520,847	837,492
F150	-723,660	426,318	839,899
F160	-769,504	318,834	832,942
F170	-791,967	201,664	817,240
F180	-790,366	78,366	794,242

Anexo N°5: Desplazamientos Propios de la Planta 2 para los puntos sobre el Eje de Masa Excéntrico al CR (Caso 2) del Modelo 1 y 2.

Tabla N°5.1

Desplazamientos Propios de Planta 2 del Modelo 1			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δ_{total} (mm)
F0	112,510	-32,074	116,992
F10	105,231	9,688	105,676
F20	94,754	51,157	107,682
F30	81,400	91,070	122,146
F40	65,571	128,218	144,012
F50	47,751	161,469	168,382
F60	28,478	189,814	191,938
F70	8,341	212,390	212,554
F80	-12,050	228,513	228,830
F90	-32,074	237,695	239,849
F100	-51,124	239,653	245,045
F110	-68,620	234,329	244,170
F120	-84,032	221,887	237,266
F130	-96,891	202,702	224,669
F140	-106,805	177,357	207,033
F150	-113,474	146,624	185,405
F160	-116,695	111,436	161,356
F170	-116,371	72,862	137,299
F180	-112,510	32,074	116,992

Tabla N°5.2

Desplazamientos Propios de Planta 2 del Modelo 2			
Fuerza	Ux (mm)	Uy (mm)	δ_{total} (mm)
F0	215,219	-20,523	216,195
F10	208,386	12,174	208,741
F20	195,221	44,500	200,228
F30	176,124	75,475	191,614
F40	151,676	104,156	183,994
F50	122,619	129,673	178,467
F60	89,836	151,249	175,917
F70	54,324	168,230	176,784
F80	17,161	180,099	180,915
F90	-20,523	186,496	187,622
F100	-57,584	187,227	195,882
F110	-92,895	182,269	204,576
F120	-125,383	171,772	212,665
F130	-154,062	156,057	219,291
F140	-178,059	135,599	223,813
F150	-196,647	111,022	225,822
F160	-209,259	83,071	225,145
F170	-215,513	52,596	221,839
F180	-215,219	20,523	216,195

Nota: Las filas resaltadas corresponden a las direcciones mayores y menores de desplazamiento, por lo tanto los ejes principales pueden coincidir o estar muy cerca a estas.

Anexo N°6: Desplazamiento de los Puntos Característicos del Modelo 1.

6.1 Tablas de Resultados para Radial L₂₀.

Tabla N°6.1.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (4132,88 mm ; 20°) ; Coord. Cartesianas (3883,6368 mm ; 1413,5282 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	71,186	12,55	72,2836	0,1745	9,9976	-19,826	112,42	114,1588	-0,1746	100,0013
2	172,56	32,85	175,6537	0,1881	10,7780	-49,051	291,92	296,0094	-0,1665	99,5383
3	263,79	51,97	268,8599	0,1945	11,1455	-75,606	459,74	465,9134	-0,1630	99,3390
4	333,05	66,84	339,6869	0,1980	11,3472	-95,806	589,34	597,0746	-0,1612	99,2335
5	373,94	76,17	381,6154	0,2010	11,5138	-107,86	669,77	678,3977	-0,1597	99,1486

6.2 Tablas de Resultados para Radial L₃₀.

Tabla N°6.2.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (3012,95 mm ; 30°) ; Coord. Cartesianas (2609,2912 mm ; 1506,475 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	71,887	12,677	72,9962	0,1746	10,0011	-17,884	101,435	102,9995	-0,1745	99,9991
2	174,351	33,176	177,4793	0,1880	10,7736	-44,079	263,783	267,4405	-0,1656	99,4867
3	266,594	52,484	271,7111	0,1944	11,1373	-67,839	415,791	421,2888	-0,1617	99,2665
4	336,623	67,488	343,3215	0,1979	11,3367	-85,907	533,324	540,1986	-0,1597	99,1505
5	377,979	76,910	385,7243	0,2007	11,5014	-96,668	606,435	614,0913	-0,1581	99,0570

Tabla N°6.2.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (5664 mm ; 30°) ; Coord. Cartesianas (4905,1679 mm ; 2832 mm)										
Planta	Fuerza F20					Fuerza F110				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	70,298	25,5820	74,8081	0,3490	19,9968	-44,882	123,299	131,2137	-0,3491	110,0020
2	170,726	66,9120	183,3701	0,3735	21,4015	-111,542	319,575	338,4816	-0,3358	109,2406
3	261,196	105,8230	281,8188	0,3849	22,0552	-172,237	502,768	531,4520	-0,3300	108,9103
4	329,887	136,0490	356,8400	0,3912	22,4118	-218,428	644,029	680,0619	-0,3270	108,7348
5	370,484	155,0150	401,6068	0,3963	22,7050	-246,056	731,448	771,7252	-0,3245	108,5927

6.3 Tablas de Resultados para Radial L40.

Tabla N°6.3.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (2596,59 mm ; 40°) ; Coord. Cartesianas (1989,1033 mm ; 1669,0559 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	72,692	12,81	73,8128	0,1745	9,9973	-17,22	97,628	99,1347	-0,1746	100,0020
2	176,41	33,53	179,5688	0,1878	10,7611	-42,37	254,04	257,5465	-0,1653	99,4695
3	269,81	53,03	274,9746	0,1941	11,1200	-65,17	400,57	405,8343	-0,1613	99,2412
4	340,72	68,19	347,4792	0,1975	11,3169	-82,51	513,92	520,5010	-0,1592	99,1208
5	382,62	77,7	390,4262	0,2004	11,4796	-92,83	584,5	591,8211	-0,1575	99,0240

Tabla N°6.3.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (4130 mm ; 40°) ; Coord. Cartesianas (3163,7636 mm ; 2654,7128 mm)										
Planta	Fuerza F20					Fuerza F110				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	71,557	26,05	76,1498	0,3491	20,0010	-37,71	103,61	110,2614	-0,3491	109,9997
2	173,95	68,1	186,8047	0,3732	21,3803	-93,18	269,17	284,8427	-0,3333	109,0950
3	266,23	107,7	287,1824	0,3843	22,0212	-143,6	424,04	447,6766	-0,3264	108,7035
4	336,3	138,4	363,6744	0,3904	22,3709	-181,9	543,68	573,2906	-0,3228	108,4962
5	377,74	157,7	409,3332	0,3955	22,6584	-204,7	617,98	651,0116	-0,3199	108,3289

Tabla N°6.2.3

Punto Característico "C"										
Coord. Polares (6572,1 mm ; 40°) ; Coord. Cartesianas (5034,5207 mm ; 4224,4645 mm)										
Planta	Fuerza F30					Fuerza F120				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	67,73	39,1	78,2079	0,5236	30,0000	-71,16	123,25	142,3180	-0,5236	120,0000
2	164,88	102,2	193,9758	0,5548	31,7897	-177,3	319,15	365,0717	-0,5070	119,0491
3	252,49	161,5	299,7349	0,5691	32,6083	-274	501,82	571,7382	-0,4997	118,6329
4	319,03	207,6	380,6176	0,5769	33,0513	-347,6	642,57	730,5559	-0,4959	118,4108
5	358,4	236,4	429,3712	0,5832	33,4140	-391,7	729,54	828,0317	-0,4927	118,2305

6.4 Tablas de Resultados para Radial L50.

Tabla N°6.4.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (2433,4983 mm ; 50°) ; Coord. Cartesianas (1564,2226 mm ; 1864,1679 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	73,671	12,991	74,8076	0,1745	10,0006	-16,855	95,594	97,0686	-0,1745	99,9995
2	178,92	33,979	182,1179	0,1877	10,7531	-41,444	248,83	252,2538	-0,1650	99,4563
3	273,73	53,738	278,9570	0,1939	11,1068	-63,724	392,43	397,5682	-0,1610	99,2234
4	345,72	69,087	352,5564	0,1972	11,3008	-80,662	503,54	509,9636	-0,1588	99,1008
5	388,27	78,717	396,1662	0,2000	11,4608	-90,738	572,76	579,9059	-0,1571	99,0021

Tabla N°6.4.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (3558,3411 mm ; 50°) ; Coord. Cartesianas (2287,2576 mm ; 2725,8474 mm)										
Planta	Fuerza F20					Fuerza F110				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	72,995	26,566	77,6790	0,3490	19,9986	-35,228	96,784	102,9959	-0,3491	110,0008
2	177,63	69,432	190,7204	0,3726	21,3492	-86,827	251,69	266,2410	-0,3322	109,0336
3	271,99	109,76	293,2962	0,3836	21,9763	-133,63	396,72	418,6225	-0,3249	108,6155
4	343,64	141,06	371,4654	0,3895	22,3180	-169,22	508,86	536,2617	-0,3210	108,3945
5	386,03	160,68	418,1397	0,3944	22,5992	-190,42	578,62	609,1470	-0,3179	108,2162

Tabla N°6.4.3

Punto Característico "C"										
Coord. Polares (4794,1 mm ; 50°) ; Coord. Cartesianas (3081,5881 mm ; 3672,4937 mm)										
Planta	Fuerza F30					Fuerza F120				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	69,298	40,007	80,0173	0,5236	29,9986	-57,067	98,838	114,1297	-0,5236	120,0012
2	168,9	104,5	198,6085	0,5541	31,7457	-141,19	256,64	292,9126	-0,5029	118,8164
3	258,77	165,13	306,9676	0,5680	32,5444	-217,62	404,18	459,0428	-0,4939	118,2989
4	327,03	212,18	389,8316	0,5756	32,9766	-275,76	518,12	586,9348	-0,4891	118,0234
5	367,45	241,65	439,7852	0,5817	33,3305	-310,46	588,83	665,6622	-0,4852	117,8004

6.5 Tablas de Resultados para Radial L60.

Tabla N°6.5.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (2433,98 mm ; 60°) ; Coord. Cartesianas (1216,99 mm ; 2107,8885 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	74,995	13,223	76,1518	0,1745	9,9995	-16,624	94,273	95,7275	1,7453	100,0007
2	182,31	34,573	185,5592	0,1874	10,7380	-40,852	245,44	248,8205	1,7357	99,4498
3	279,03	54,666	284,3316	0,1935	11,0848	-62,799	387,15	392,2053	1,7316	99,2137
4	352,47	70,269	359,4062	0,1968	11,2748	-79,482	496,81	503,1288	1,7294	99,0894
5	395,9	80,054	403,9097	0,1995	11,4316	-89,405	565,15	572,1781	1,7277	98,9895

Tabla N°6.5.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (3336,8981 mm ; 60°) ; Coord. Cartesianas (1668,4491 mm ; 2889,8385 mm)										
Planta	Fuerza F20					Fuerza F110				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	74,755	27,206	79,5517	0,3490	19,9982	-33,906	93,15	99,1289	1,9199	110,0012
2	182,14	71,072	195,5152	0,3720	21,3160	-83,442	242,38	256,3427	1,9023	108,9964
3	279,03	112,32	300,7845	0,3827	21,9269	-128,34	382,19	403,1629	1,8948	108,5626
4	352,61	144,33	381,0076	0,3885	22,2599	-162,48	490,34	516,5604	1,8908	108,3334
5	396,18	164,38	428,9266	0,3933	22,5337	-182,8	557,68	586,8736	1,8875	108,1485

Tabla N°6.5.3

Punto Característico "C"										
Coord. Polares (4130,4737 mm ; 60°) ; Coord. Cartesianas (2065,2369 mm ; 3577,0952 mm)										
Planta	Fuerza F30					Fuerza F120				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	71,081	41,035	82,0755	0,5236	29,9978	-52,174	90,36	104,3411	2,0944	120,0022
2	173,46	107,13	203,8746	0,5533	31,6999	-128,66	234,93	267,8551	2,0718	118,7063
3	265,9	169,25	315,1902	0,5668	32,4772	-198,05	370,28	419,9126	2,0619	118,1409
4	336,12	217,43	400,3085	0,5742	32,8979	-250,82	474,9	537,0680	2,0567	117,8405
5	377,72	247,57	451,6271	0,5802	33,2422	-282,26	539,97	609,2888	2,0525	117,5973

Tabla N°6.5.4

Punto Característico "D"										
Coord. Polares (5112,2381 mm ; 60°) ; Coord. Cartesianas (2556,1191 mm ; 4427,3281 mm)										
Planta	Fuerza F40					Fuerza F130				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	64,449	54,076	84,1302	0,6981	39,9984	-73,363	87,427	114,1298	2,2689	130,0012
2	157,46	141,11	211,4393	0,7307	41,8654	-181,5	227,01	290,6486	2,2452	128,6432
3	241,49	222,87	328,6153	0,7453	42,7036	-279,76	357,52	453,9650	2,2348	128,0433
4	305,33	286,26	418,5339	0,7532	43,1536	-354,5	458,3	579,4082	2,2292	127,7225
5	343,18	325,9	473,2688	0,7596	43,5202	-399,11	520,85	656,1816	2,2246	127,4618

6.6 Tablas de Resultados para Radial L70.

Tabla N°6.6.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (2595,1396 mm ; 70°) ; Coord. Cartesianas (887,5900 mm ; 2438,6335 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	77,019	13,581	78,2072	0,1745	10,0003	-16,449	93,291	94,7300	-0,1745	-9,9996
2	187,49	35,49	190,8214	0,1871	10,7186	-40,405	242,93	246,2672	-0,1648	-9,4432
3	287,12	56,098	292,5509	0,1929	11,0552	-62,101	383,22	388,2162	-0,1607	-9,2049
4	362,79	72,094	369,8810	0,1962	11,2395	-78,594	491,81	498,0454	-0,1585	-9,0795
5	407,56	82,118	415,7525	0,1988	11,3918	-88,4	559,49	566,4306	-0,1567	-8,9786

Tabla N°6.6.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (3336,7968 mm ; 70°) ; Coord. Cartesianas (1141,2517 mm ; 3135,5633 mm)										
Planta	Fuerza F20					Fuerza F110				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	77,126	28,07	82,0752	0,3490	19,9990	-33,043	90,778	96,6048	-0,3491	-20,0014
2	188,21	73,283	201,9747	0,3713	21,2743	-81,23	236,31	249,8805	-0,3311	-18,9701
3	288,51	115,77	310,8711	0,3816	21,8646	-124,89	372,7	393,0710	-0,3233	-18,5255
4	364,7	148,73	393,8613	0,3872	22,1864	-158,08	478,25	503,6984	-0,3192	-18,2906
5	409,85	169,35	443,4571	0,3918	22,4510	-177,82	544,01	572,3320	-0,3159	-18,1012

Tabla N°6.6.3

Punto Característico "C"										
Coord. Polares (3873,5399 mm ; 70°) ; Coord. Cartesianas (1324,8287 mm ; 3639,9369 mm)										
Planta	Fuerza F30					Fuerza F120				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	73,268	42,296	84,5999	0,5235	29,9969	-49,57	85,848	99,1315	-0,5236	-30,0028
2	179,06	110,36	210,3365	0,5523	31,6469	-121,99	223,38	254,5217	-0,4998	-28,6389
3	274,64	174,29	325,2782	0,5655	32,3998	-187,63	352,23	399,0905	-0,4895	-28,0443
4	347,26	223,86	413,1623	0,5726	32,8070	-237,54	451,91	510,5338	-0,4840	-27,7286
5	390,33	254,85	466,1565	0,5784	33,1405	-267,25	513,96	579,2922	-0,4795	-27,4733

Tabla N°6.6.4

Punto Característico "D"										
Coord. Polares (4404,2436 mm ; 70°) ; Coord. Cartesianas (1506,3400 mm ; 4138,6352 mm)										
Planta	Fuerza F40					Fuerza F130				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	66,24	55,58	86,4689	0,6981	39,9990	-66,206	78,898	102,9958	-0,6982	-40,0012
2	162,05	144,96	217,4249	0,7298	41,8142	-163,18	205,17	262,1503	-0,6719	-38,4954
3	248,66	228,88	337,9611	0,7440	42,6291	-251,14	323,41	409,4649	-0,6603	-37,8303
4	314,46	293,93	430,4418	0,7517	43,0665	-318,02	414,83	522,7026	-0,6541	-37,4751
5	353,51	334,57	486,7261	0,7579	43,4231	-357,86	471,69	592,0794	-0,6490	-37,1866

Tabla N°6.6.5

Punto Característico "E"										
Coord. Polares (5112,8749 mm ; 70°) ; Coord. Cartesianas (1748,7962 mm ; 4804,5308 mm)										
Planta	Fuerza F50					Fuerza F140				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	56,567	67,406	87,9966	0,8726	49,9967	-84,476	70,877	110,2712	-0,8727	-50,0027
2	138,5	175,75	223,7623	0,9034	51,7610	-208,74	184,13	278,3441	-0,8480	-48,5844
3	212,59	277,45	349,5271	0,9170	52,5400	-321,59	290,07	433,0772	-0,8369	-47,9502
4	268,89	356,25	446,3291	0,9242	52,9554	-407,42	371,91	551,6400	-0,8309	-47,6092
5	302,3	405,46	505,7494	0,9301	53,2923	-458,61	422,74	623,7239	-0,8261	-47,3309

6.7 Tablas de Resultados para Radial L80.

Tabla N°6.7.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (3012,9997 mm ; 80°) ; Coord. Cartesianas (523,2019 mm ; 2967,2255 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	80,831	14,251	82,0777	0,1745	9,9988	-16,31	92,492	93,9190	-0,1745	-10,0007
2	197,25	37,206	200,7303	0,1864	10,6817	-40,049	240,88	244,1896	-0,1648	-9,4396
3	302,37	58,778	308,0270	0,1920	11,0007	-61,545	380,02	384,9714	-0,1606	-9,1993
4	382,22	75,511	389,6056	0,1950	11,1754	-77,885	487,73	493,9085	-0,1584	-9,0729
5	429,53	85,981	438,0540	0,1976	11,3195	-87,598	554,88	561,7539	-0,1566	-8,9711

Tabla N°6.7.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (3558,1934 mm ; 80°) ; Coord. Cartesianas (617,8738 mm ; 3504,1364 mm)										
Planta	Fuerza F20					Fuerza F110				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	80,759	29,392	85,9413	0,3490	19,9988	-32,401	89,018	94,7314	-0,3491	-20,0006
2	197,51	76,669	211,8705	0,3703	21,2149	-79,589	231,8	245,0848	-0,3307	-18,9499
3	303,04	121,06	326,3241	0,3801	21,7765	-122,33	365,66	385,5812	-0,3228	-18,4966
4	383,22	155,47	413,5548	0,3854	22,0825	-154,81	469,28	494,1532	-0,3187	-18,2573
5	430,78	176,98	465,7193	0,3898	22,3340	-174,13	533,86	561,5415	-0,3153	-18,0645

Tabla N°6.7.3

Punto Característico "C"										
Coord. Polares (3873,4616 mm ; 80°) ; Coord. Cartesianas (672,6195 mm ; 3814,6150 mm)										
Planta	Fuerza F30					Fuerza F120				
	Desplazamiento			γ		γ			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	76,213	43,997	88,0009	0,5236	29,9974	-47,869	82,903	95,7306	-0,5236	-30,0026
2	186,6	114,71	219,0391	0,5512	31,5818	-117,63	215,84	245,8152	-0,4990	-28,5905
3	286,42	181,09	338,8665	0,5638	32,3038	-180,83	340,45	385,4954	-0,4883	-27,9751
4	362,27	232,53	430,4769	0,5706	32,6943	-228,87	436,89	493,2096	-0,4826	-27,6486
5	407,3	264,65	485,7271	0,5762	33,0141	-257,44	496,99	559,7084	-0,4780	-27,3846

Tabla N°6.7.4

Punto Característico "D"										
Coord. Polares (4130,1298 mm ; 80°) ; Coord. Cartesianas (717,1895 mm ; 4067,3838 mm)										
Planta	Fuerza F40					Fuerza F130				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	68,439	57,425	89,3394	0,6981	39,9989	-62,398	74,36	97,0717	-0,6982	-40,0012
2	167,68	149,68	224,7692	0,7288	41,7549	-153,43	193,56	246,9894	-0,6703	-38,4030
3	257,45	236,26	349,4270	0,7425	42,5426	-235,91	305,26	385,7930	-0,6579	-37,6972
4	325,67	303,33	445,0507	0,7499	42,9657	-298,61	391,7	492,5384	-0,6514	-37,3204
5	366,18	345,2	503,2390	0,7559	43,3106	-335,92	445,54	557,9820	-0,6460	-37,0145

Tabla N°6.7.5

Punto Característico "E"										
Coord. Polares (4404,3026 mm ; 80°) ; Coord. Cartesianas (764,7991 mm ; 4337,3913 mm)										
Planta	Fuerza F50					Fuerza F140				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	58,068	69,2	90,3357	0,8726	49,9989	-75,94	63,718	99,1306	-0,8727	-50,0014
2	142,34	180,34	229,7469	0,9026	51,7169	-186,88	165,8	249,8291	-0,8451	-48,4212
3	218,59	284,62	358,8708	0,9159	52,4758	-287,45	261,43	388,5524	-0,8328	-47,7135
4	276,54	365,39	458,2348	0,9229	52,8804	-363,91	335,41	494,9042	-0,8261	-47,3332
5	310,95	415,79	519,2065	0,9287	53,2087	-409,41	381,48	559,5904	-0,8207	-47,0231

Tabla N°6.7.6

Punto Característico "F"										
Coord. Polares (4794,2047 mm ; 80°) ; Coord. Cartesianas (832,5049 mm ; 4721,3700 mm)										
Planta	Fuerza F60					Fuerza F150				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	45,576	78,935	91,1477	1,0472	59,9984	-89,202	51,498	103,0002	-1,0472	-60,0013
2	111,76	205,68	234,0842	1,0731	61,4814	-219,85	133,92	257,4294	-1,0237	-58,6530
3	171,66	324,58	367,1766	1,0843	62,1273	-338,36	211,09	398,8113	-1,0130	-58,0415
4	217,18	416,66	469,8659	1,0903	62,4696	-428,48	270,76	506,8623	-1,0072	-57,7107
5	244,22	474,12	533,3202	1,0951	62,7463	-482,16	307,88	572,0729	-1,0025	-57,4400

Anexo N°7: Desplazamiento de los Puntos Característicos del Modelo 2.

7.1 Tablas de Resultados para Radial L₁₀.

Tabla N°7.1.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (4960 mm ; 10°) ; Coord. Cartesianas (4884,6465 mm ; 861,2949 mm)										
Planta	Fuerza F80					Fuerza F170				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δ_{total}	(rad)	(Grados)
1	22,734	128,95	130,9360	1,3963	80,0012	-149,28	26,325	151,5863	-1,3962	169,9991
2	54,804	279,8	285,1129	1,3774	78,9177	-355,33	57,187	359,9064	-1,4112	170,8573
3	83,336	413,51	421,8220	1,3719	78,6055	-538,51	84,529	545,0989	-1,4151	171,0791
4	104,74	517,38	527,8744	1,3711	78,5559	-676,36	105,75	684,5805	-1,4157	171,1135
5	117	580,71	592,3796	1,3720	78,6088	-755,84	118,67	765,0953	-1,4151	171,0770

Tabla N°7.1.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (5857,779 mm ; 10°) ; Coord. Cartesianas (5768,7861 mm ; 1017,1926 mm)										
Planta	Fuerza F70					Fuerza F160				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	47,086	129,38	137,6782	1,2218	70,0012	-143,77	52,333	153,0023	-1,2217	159,9988
2	112,99	280,84	302,7190	1,1883	68,0830	-341,97	113,69	360,3692	-1,2498	161,6103
3	171,61	415,07	449,1531	1,1787	67,5372	-518,14	168,05	544,7114	-1,2572	162,0305
4	215,64	519,32	562,3114	1,1772	67,4506	-650,76	210,24	683,8804	-1,2583	162,0960
5	240,91	582,84	630,6717	1,1788	67,5427	-727,24	235,92	764,5535	-1,2571	162,0268

Tabla N°7.1.3

Punto Característico "C"										
Coord. Polares (6376 mm ; 10°) ; Coord. Cartesianas (6279,1342 mm ; 1107,1808 mm)										
Planta	Fuerza F60					Fuerza F150				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	70,627	122,34	141,2624	1,0472	60,0020	-134,01	77,376	154,7432	-1,0472	149,9981
2	169,11	265,62	314,8806	1,0039	57,5171	-318,45	168,11	360,1008	-1,0851	152,1709
3	256,68	392,59	469,0543	0,9917	56,8223	-482,4	248,49	542,6367	-1,0951	152,7465
4	322,49	491,18	587,5859	0,9898	56,7126	-605,84	310,88	680,9467	-1,0967	152,8363
5	360,32	551,24	658,5534	0,9919	56,8292	-677,06	348,84	761,6467	-1,0950	152,7413

Tabla N°7.1.4

Punto Característico "D"										
Coord. Polares (6798 mm ; 10°) ; Coord. Cartesianas (6694,7231 mm ; 1180,4603 mm)										
Planta	Fuerza F50					Fuerza F140				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	92,303	110	143,5968	0,8727	49,9995	-120,33	100,97	157,0791	-0,8727	140,0002
2	220,7	238,86	325,2075	0,8249	47,2634	-285,61	219,39	360,1426	-0,9158	142,4709
3	334,86	353,04	486,5942	0,8118	46,5138	-432,51	324,29	540,5802	-0,9274	143,1377
4	420,68	441,7	609,9786	0,8098	46,3959	-543,15	405,71	677,9467	-0,9293	143,2423
5	470,05	495,7	683,1267	0,8119	46,5210	-607,03	455,24	758,7668	-0,9273	143,1318

Tabla N°7.1.5

Punto Característico "E"										
Coord. Polares (7250 mm ; 10°) ; Coord. Cartesianas (7139,8562 mm ; 1258,9493 mm)										
Planta	Fuerza F40					Fuerza F130				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	111,33	93,423	145,3373	0,6982	40,0011	-103,28	123,08	160,6723	-0,6981	129,9990
2	265,92	202,88	334,4791	0,6517	37,3408	-244,7	267,48	362,5268	-0,7410	132,4534
3	403,38	299,87	502,6318	0,6393	36,6266	-370,39	395,4	541,7769	-0,7528	133,1294
4	506,74	375,17	630,5029	0,6373	36,5149	-465,1	494,65	678,9675	-0,7546	133,2361
5	566,22	421,02	705,5959	0,6394	36,6335	-519,82	555,03	760,4436	-0,7526	133,1235

Tabla N°7.1.6

Punto Característico "F"										
Coord. Polares (7891 mm ; 10°) ; Coord. Cartesianas (7771,1180 mm ; 1370,2578 mm)										
Planta	Fuerza F30					Fuerza F120				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	127,09	73,377	146,7524	0,5236	30,0001	-83,705	144,98	167,4106	-0,5236	119,9999
2	303,32	159,36	342,6316	0,4837	27,7166	-197,72	315,16	372,0412	-0,5603	122,1027
3	460	235,54	516,8010	0,4732	27,1145	-299,02	465,88	553,5866	-0,5706	122,6935
4	577,84	294,69	648,6463	0,4716	27,0207	-375,42	582,82	693,2694	-0,5722	122,7873
5	645,69	330,7	725,4480	0,4733	27,1202	-419,63	653,93	776,9921	-0,5705	122,6886

Tabla N°7.1.7

Punto Característico "G"										
Coord. Polares (9320 mm ; 10°) ; Coord. Cartesianas (9178,4083 mm ; 1618,4010 mm)										
Planta	Fuerza F20					Fuerza F110				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	139,07	50,619	147,9981	0,3491	20,0003	-63,897	175,56	186,8246	-0,3491	109,9997
2	331,68	109,94	349,4256	0,3201	18,3386	-149,77	381,88	410,1956	-0,3738	111,4153
3	502,92	162,5	528,5236	0,3125	17,9064	-226,03	564,57	608,1339	-0,3808	111,8194
4	631,73	203,3	663,6407	0,3114	17,8393	-283,68	706,24	761,0800	-0,3819	111,8840
5	705,92	228,15	741,8722	0,3126	17,9104	-317,16	792,3	853,4201	-0,3808	111,8164

7.2 Tablas de Resultados para Radial L20.

Tabla N°7.2.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (4273 mm ; 20°) ; Coord. Cartesianas (4015,3066 mm ; 1461,4521 mm)										
Planta	Fuerza F80					Fuerza F170				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	21,563	122,3	124,1907	1,3963	80,0011	-150,68	26,571	153,0029	-1,3962	169,9991
2	52,243	265,26	270,3586	1,3763	78,8584	-358,39	57,724	363,0059	-1,4111	170,8502
3	79,547	392	399,9941	1,3706	78,5292	-543,02	85,324	549,6845	-1,4149	171,0702
4	99,998	490,49	500,5829	1,3697	78,4769	-682,01	106,75	690,3142	-1,4155	171,1044
5	111,69	550,58	561,7965	1,3707	78,5329	-762,17	119,78	771,5204	-1,4149	171,0683

Tabla N°7.2.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (5492 mm ; 20°) ; Coord. Cartesianas (5160,7919 mm ; 1878,3746 mm)										
Planta	Fuerza F70					Fuerza F160				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	44,781	123,03	130,9265	1,2217	69,9994	-146,84	53,445	156,2666	-1,2217	160,0005
2	107,95	266,96	287,9571	1,1865	67,9829	-348,68	116,12	367,5082	-1,2493	161,5804
3	164,15	394,53	427,3198	1,1765	67,4094	-528,08	171,65	555,2719	-1,2565	161,9933
4	206,31	493,64	535,0143	1,1749	67,3186	-663,18	214,74	697,0832	-1,2576	162,0577
5	230,46	554,06	600,0808	1,1766	67,4155	-741,16	240,97	779,3492	-1,2565	161,9897

Tabla N°7.2.3

Punto Característico "C"										
Coord. Polares (6375 mm ; 20°) ; Coord. Cartesianas (5590,5405 mm ; 2180,3784 mm)										
Planta	Fuerza F60					Fuerza F150				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	67,664	117,2	135,3280	1,0472	59,9999	-139,14	80,333	160,6670	-1,0472	150,0002
2	162,62	254,37	301,9106	1,0020	57,4082	-329,68	174,58	373,0519	-1,0838	152,0972
3	247,09	375,94	449,8760	0,9893	56,6845	-499,01	258,06	561,7917	-1,0935	152,6545
4	310,5	470,37	563,6094	0,9873	56,5704	-626,62	322,85	704,8956	-1,0950	152,7416
5	346,88	527,92	631,6823	0,9895	56,6920	-700,34	362,25	788,4848	-1,0934	152,6496

Tabla N°7.2.4

Punto Característico "D"										
Coord. Polares (7250 mm ; 20°) ; Coord. Cartesianas (6812,7715 mm ; 2479,6460 mm)										
Planta	Fuerza F50					Fuerza F140				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	89,086	106,17	138,5958	0,8727	50,0012	-128,25	107,61	167,4143	-0,8726	139,9990
2	213,66	230,48	314,2790	0,8233	47,1698	-302,92	233,93	382,7327	-0,9132	142,3237
3	324,45	340,65	470,4359	0,8098	46,3955	-458,13	345,81	573,9873	-0,9242	142,9536
4	407,66	426,2	589,7780	0,8076	46,2739	-575,19	432,61	719,7117	-0,9259	143,0526
5	455,46	478,33	660,4872	0,8099	46,4032	-642,92	485,39	805,5725	-0,9241	142,9483

Tabla N°7.2.5

Punto Característico "E"										
Coord. Polares (8414,963 mm ; 20°) ; Coord. Cartesianas (7907,4786 mm ; 2878,0868 mm)										
Planta	Fuerza F40					Fuerza F130				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	108,21	90,797	141,2554	0,6981	39,9997	-115,76	137,95	180,0839	-0,6981	130,0001
2	259,09	197,13	325,5592	0,6504	37,2666	-272,01	300,01	404,9608	-0,7365	132,1972
3	393,27	291,37	489,4428	0,6376	36,5343	-410,78	443,52	604,5297	-0,7471	132,8054
4	494,09	364,54	614,0143	0,6356	36,4199	-515,61	554,83	757,4219	-0,7488	132,9017
5	552,05	409,11	687,1167	0,6378	36,5415	-576,42	622,47	848,3668	-0,7470	132,8006

Tabla N°7.2.6

Punto Característico "F"										
Coord. Polares (10818 mm ; 20°) ; Coord. Cartesianas (10165,5948 mm ; 3699,9739 mm)										
Planta	Fuerza F30					Fuerza F120				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	124,36	71,8	143,5980	0,5236	30,0004	-108,28	187,55	216,5658	-0,5236	119,9997
2	297,34	155,91	335,7360	0,4829	27,6699	-251,49	408,29	479,5251	-0,5521	121,6311
3	451,16	230,44	506,6033	0,4722	27,0566	-378,58	603,68	712,5673	-0,5601	122,0922
4	566,78	288,31	635,8968	0,4706	26,9611	-474,89	755,12	892,0356	-0,5614	122,1658
5	633,3	323,55	711,1599	0,4723	27,0625	-531,1	847	999,7406	-0,5601	122,0891

7.3 Tablas de Resultados para Radial L30.

Tabla N°7.3.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (4006 mm ; 30°) ; Coord. Cartesianas (3469,2978 mm ; 2003 mm)										
Planta	Fuerza F80					Fuerza F170				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	20,943	118,77	120,5983	1,3963	79,9995	-152,39	26,869	154,7386	-1,3963	170,0004
2	50,885	257,52	262,5011	1,3757	78,8226	-362,13	58,376	366,8020	-1,4110	170,8425
3	77,538	380,55	388,3697	1,3698	78,4835	-548,56	86,289	555,3012	-1,4148	171,0605
4	97,487	476,17	486,0488	1,3689	78,4297	-688,93	107,95	697,3375	-1,4154	171,0945
5	108,87	534,53	545,5095	1,3699	78,4874	-769,92	121,14	779,3913	-1,4147	171,0586

Tabla N°7.3.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (5492 mm ; 30°) ; Coord. Cartesianas (4756,2115 mm ; 2746 mm)										
Planta	Fuerza F70					Fuerza F160				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	43,276	118,9	126,5269	1,2217	69,9994	-150,98	54,95	160,6660	-1,2217	160,0004
2	104,66	257,91	278,3377	1,1853	67,9131	-357,73	119,42	377,1301	-1,2486	161,5401
3	159,28	381,15	413,0928	1,1750	67,3201	-541,46	176,52	569,5054	-1,2557	161,9435
4	200,21	476,9	517,2273	1,1733	67,2263	-679,92	220,83	714,8797	-1,2568	162,0065
5	223,63	535,31	580,1473	1,1751	67,3266	-759,91	247,79	799,2920	-1,2556	161,9401

Tabla N°7.3.3

Punto Característico "C"										
Coord. Polares (6798 mm ; 30°) ; Coord. Cartesianas (5887,2407 mm ; 3399 mm)										
Planta	Fuerza F60					Fuerza F150				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	65,465	113,39	130,9275	1,0472	59,9995	-147,01	84,873	169,7483	-1,0472	150,0004
2	157,81	246,03	292,2935	1,0005	57,3225	-346,89	184,51	392,9070	-1,0820	151,9915
3	239,97	363,61	435,6561	0,9874	56,5759	-524,47	272,76	591,1585	-1,0912	152,5227
4	301,6	454,94	545,8321	0,9854	56,4583	-658,45	341,22	741,6105	-1,0927	152,6060
5	336,91	510,63	611,7588	0,9876	56,5838	-736,01	382,85	829,6306	-1,0912	152,5184

Tabla N°7.3.4

Punto Característico "D"										
Coord. Polares (8415 mm ; 30°) ; Coord. Cartesianas (7287,6038 mm ; 4207,5 mm)										
Planta	Fuerza F50					Fuerza F140				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	86,464	103,05	134,5157	0,8727	50,0006	-143,12	120,09	186,8248	-0,8727	139,9995
2	207,92	223,64	305,3639	0,8218	47,0865	-335,46	261,22	425,1666	-0,9092	142,0921
3	315,96	330,53	457,2555	0,8079	46,2909	-506,26	386,19	636,7448	-0,9191	142,6627
4	397,05	413,55	573,3005	0,8058	46,1661	-635,37	483,1	798,1721	-0,9207	142,7528
5	443,57	464,15	642,0200	0,8081	46,2991	-710,36	541,97	893,5015	-0,9191	142,6584

7.4 Tablas de Resultados para Radial L₄₀.

Tabla N°7.4.1

Punto Característico "A"										
Coord. Polares (4000 mm ; 40°) ; Coord. Cartesianas (3064,1778 mm ; 2571,1504 mm)										
Planta	Fuerza F80					Fuerza F170				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	20,537	116,46	118,2607	1,3963	79,9996	-154,69	27,275	157,0752	-1,3963	170,0003
2	49,996	252,49	257,3878	1,3753	78,7994	-367,16	59,264	371,9152	-1,4108	170,8309
3	76,223	373,1	380,8051	1,3693	78,4535	-556,01	87,603	562,8659	-1,4145	171,0462
4	95,843	466,85	476,5908	1,3683	78,3987	-698,25	109,6	706,7947	-1,4151	171,0797
5	107,03	524,09	534,9107	1,3693	78,4576	-780,36	122,98	789,9887	-1,4145	171,0443

Tabla N°7.4.2

Punto Característico "B"										
Coord. Polares (5858 mm ; 40°) ; Coord. Cartesianas (4487,4883 mm ; 3765,4498 mm)										
Planta	Fuerza F70					Fuerza F160				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	42,154	115,83	123,2648	1,2218	70,0023	-157,32	57,265	167,4182	-1,2217	159,9983
2	102,2	251,21	271,2056	1,1844	67,8611	-371,6	124,48	391,8952	-1,2476	161,4800
3	155,65	371,23	402,5445	1,1738	67,2527	-561,99	184,01	591,3473	-1,2544	161,8698
4	195,68	464,51	504,0395	1,1721	67,1565	-705,59	230,2	742,1884	-1,2554	161,9307
5	218,55	521,42	565,3681	1,1739	67,2596	-788,68	258,29	829,8956	-1,2543	161,8665

7.5 Tablas de Resultados para Radial L50.

Tabla N°7.5.1

Punto Característico "A"										
Coordenadas Polares (4274,263 mm ; 50°); Coordenadas Cartesianas (2747,4432 mm; 3274,2754 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	158,237	-27,908	160,6787	-0,1746	-10,0022	20,228	114,755	116,5242	0,1745	-99,9969
2	374,923	-60,648	379,7962	-0,1604	-9,1887	49,322	248,747	253,5894	0,1957	-101,2151
3	567,489	-89,651	574,5263	-0,1567	-8,9773	75,225	367,567	375,1856	0,2019	-101,5662
4	712,602	-112,156	721,3743	-0,1561	-8,9444	94,594	459,938	469,5648	0,2028	-101,6218
5	796,446	-125,847	806,3268	-0,1567	-8,9791	105,633	516,343	527,0372	0,2018	-101,5620

7.6 Tablas de Resultados para Radial L60.

Tabla N°7.6.1

Punto Característico "A"										
Coordenadas Polares (2433,98 mm ; 60°); Coordenadas Cartesianas (1216,99 mm ; 2107,8885 mm)										
Planta	Fuerza F10					Fuerza F100				
	Desplazamiento			γ		Desplazamiento			γ	
	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)	Ux	Uy	δtotal	(rad)	(Grados)
1	164,873	-29,075	167,4170	-0,1746	-10,0012	19,985	113,357	115,1052	0,1745	-99,9986
2	389,442	-63,201	394,5370	-0,1609	-9,2179	48,790	245,688	250,4856	0,1960	-101,2320
3	588,972	-93,428	596,3362	-0,1573	-9,0137	74,437	363,040	370,5926	0,2022	-101,5872
4	739,463	-116,879	748,6429	-0,1568	-8,9818	93,610	454,279	463,8235	0,2032	-101,6436
5	826,546	-131,139	836,8845	-0,1573	-9,0153	104,530	510,001	520,6031	0,2022	-101,5829

Anexos N°8.- Análisis y Comportamiento de los CIR en todas las plantas del Modelo 2.

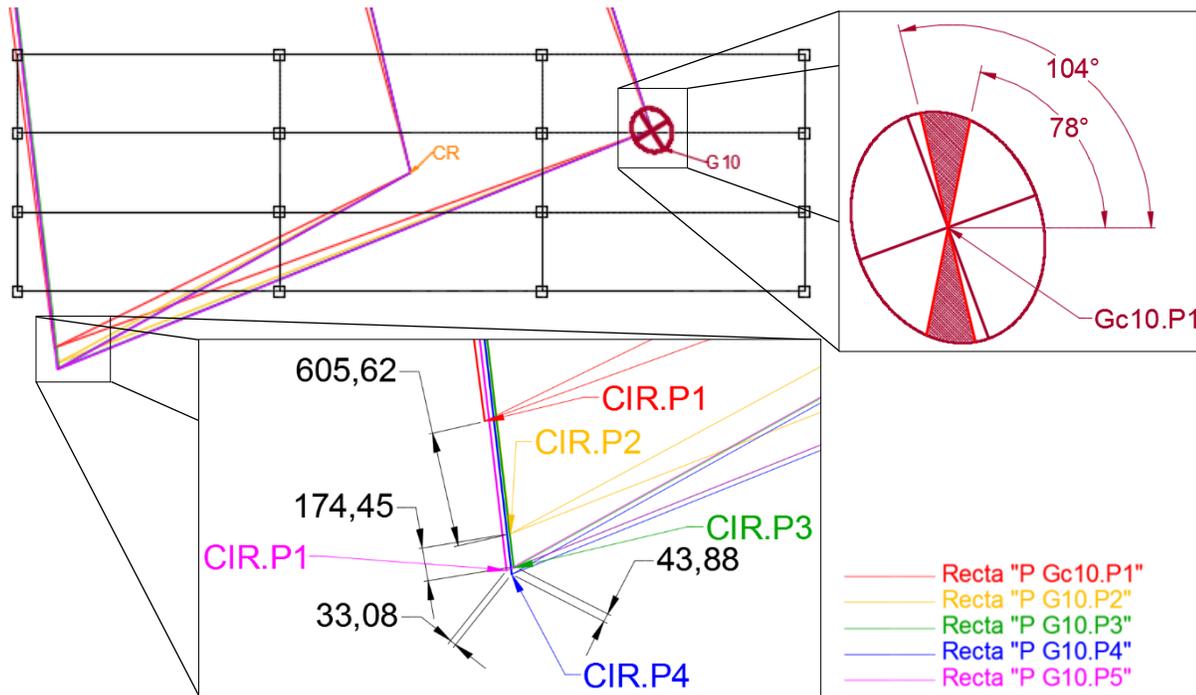


Figura 37.- Posición de los CIR, Rectas P del Punto G₁₀ en todas las Plantas del Modelo 2. Direcciones de Función de Carga que generan CIR dentro de la Planta. (Medidas en mm).

Se puede observar que la separación de los CIR consecutivos en el punto G₁₀ posee valores muy similares a las separaciones de los CIR del Punto F₂₀. Corroborando el comportamiento uniforme en la altura de los CIR en el Modelo 2, así como también, que poseen un comportamiento similar sin importar la posición del punto de aplicación de la función de carga.

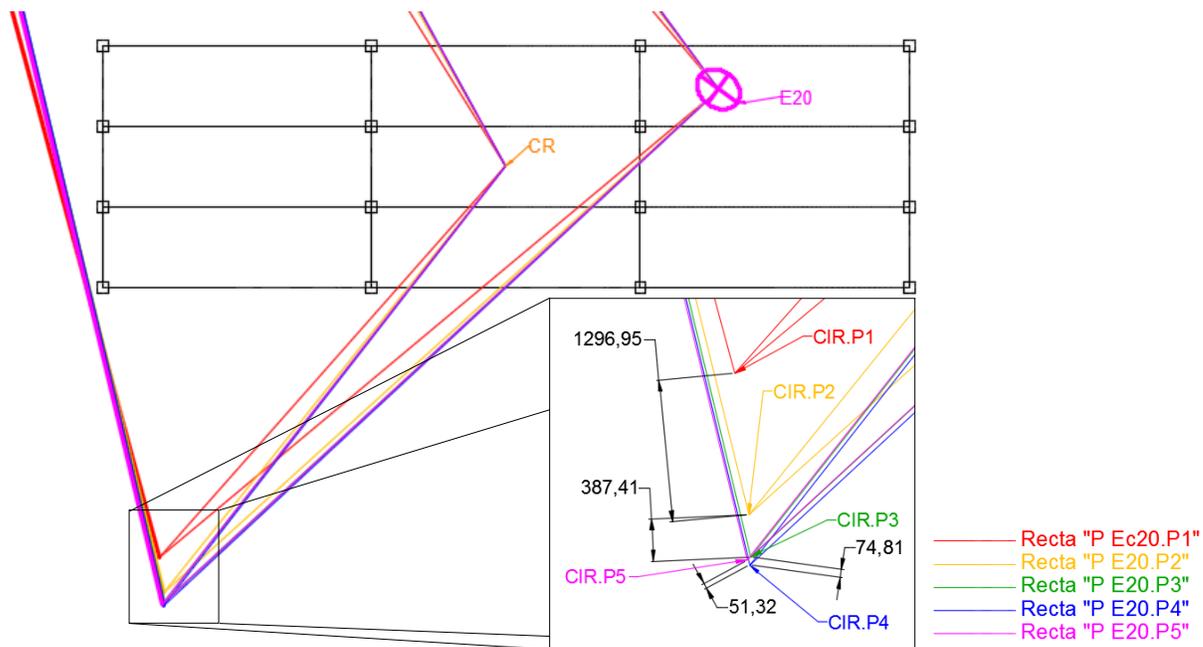


Figura 24.- Posición de los CIR y recta " P_{E20} " de cada una de las plantas del modelo 2. (Medidas en mm).

Nuevamente, se pudo corroborar luego de analizar las Rectas P en todas las plantas de un punto dentro del LFE, que sin importar la dirección ni el punto de aplicación de la función de carga no se genera un CIR dentro de la planta.

Anexo N°9 – Cónicas Asociadas del Modelo 3.

9.1 Elipse de Desplazamiento de los Puntos sobre la L27.

Punto 1 sobre L27. Coordenadas Polares (5918,31mm; 27°)										
Planta	Fuerza	Angulo	Desplazamientos			Fuerza	Angulo	Desplazamientos		
	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)
1	1000	90	-16,408	113,366	114,547	1000	0	73,090	-16,408	74,909
2	2000	90	-35,576	248,386	250,921	2000	0	149,608	-35,576	153,780

Punto 2 sobre L27. Coordenadas Polares (6886,87mm; 27°)										
Planta	Fuerza	Angulo	Desplazamientos			Fuerza	Angulo	Desplazamientos		
	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)
1	1000	90	-21,894	124,951	126,855	1000	0	75,677	-21,894	78,780
2	2000	90	-47,471	273,504	277,593	2000	0	155,217	-47,471	162,314

Punto 3 sobre L27. Coordenadas Polares (7863,34mm; 27°)										
Planta	Fuerza	Angulo	Desplazamientos			Fuerza	Angulo	Desplazamientos		
	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)
1	1000	90	-28,544	138,252	141,168	1000	0	79,002	-28,544	84,000
2	2000	90	-61,890	302,344	308,613	2000	0	162,426	-61,890	173,818

9.2 Elipse de Desplazamiento de los Puntos sobre la L35.

Punto 1 sobre L35. Coordenadas Polares (5836,75mm; 35°)										
Planta	Fuerza	Angulo	Desplazamientos			Fuerza	Angulo	Desplazamientos		
	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)
1	1000	90	-18,566	107,280	108,875	1000	0	77,927	-18,566	80,108
2	2000	90	-40,255	235,189	238,609	2000	0	160,095	-40,255	165,078

Punto 2 sobre L35. Coordenadas Polares (7233,05mm; 35°)										
Planta	Fuerza	Angulo	Desplazamientos			Fuerza	Angulo	Desplazamientos		
	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)
1	1000	90	-28,512	121,270	124,577	1000	0	84,998	-28,512	89,653
2	2000	90	-61,820	265,522	272,624	2000	0	175,426	-61,820	186,000

Punto 3 sobre L35. Coordenadas Polares (7863,34mm; 35°)										
Planta	Fuerza	Angulo	Desplazamientos			Fuerza	Angulo	Desplazamientos		
	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)	(ton)	(grados)	δx (mm)	δy (mm)	Total (mm)
1	1000	90	-40,582	138,249	144,082	1000	0	93,579	-40,582	102,000
2	2000	90	-87,991	302,337	314,881	2000	0	194,031	-87,991	213,050

9.3 Elipse de Rigidez y Elipse de Culman del CR. Modelo 3.

Planta	Fuerza	Cortante	Elipse de Desplazamientos		Elipses Propias		Elipse de Rigidez	
	Tonf	Tonf	δx (mm)	δy (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Rx (Ton/mm)	Ry (Ton/mm)
1	1000	3000	64,730	81,163	64,730	81,163	46,346	36,963
2	2000	2000	131,481	178,564	66,751	97,401	29,962	20,534

Planta	Momento	Momento Actuante	Rotaciones	Rotaciones Propias	Rigidez Torsional	Elipse de Culmann	
	(Tonf.m)	(Tonf.m)	Θ (rad)	Θ (rad)	(Ton.mm/rad)	ρx (mm)	ρy (mm)
1	200	600	0,00023	0,00023	2.599.653.379,55	8386,41	7489,45
2	400	400	0,00050	0,00027	1.483.459.427,38	8499,72	7036,42

Anexos N°10 – Esfuerzos antes Efectos Extremos de Traslación Pura del Modelo 3

1.1. Carga Sísmica Tipo 1.

Fuerza en Dirección X - Piso 1				Fuerza en Dirección X - Piso 2			
Column	Caso de Carga	V2	V3	Column	Caso de Carga	V2	V3
		tonf	tonf			tonf	tonf
C1	CRX	34,698	0,237	C1	CRX	17,264	0,449
C2	CRX	36,296	0,000	C2	CRX	20,084	0,000
C3	CRX	34,698	-0,237	C3	CRX	17,264	-0,449
C4	CRX	42,709	0,085	C4	CRX	31,609	0,159
C5	CRX	44,795	0,000	C5	CRX	35,006	0,000
C6	CRX	42,709	-0,085	C6	CRX	31,609	-0,159
C7	CRX	42,079	0,000	C7	CRX	30,363	0,000
C8	CRX	44,033	0,000	C8	CRX	33,603	0,000
C9	CRX	42,079	0,000	C9	CRX	30,363	0,000
C10	CRX	42,709	0,085	C10	CRX	31,609	0,159
C11	CRX	44,795	0,000	C11	CRX	35,006	0,000
C12	CRX	42,709	-0,085	C12	CRX	31,609	-0,159
C13	CRX	34,698	-0,237	C13	CRX	17,264	-0,449
C14	CRX	36,296	0,000	C14	CRX	20,084	0,000
C15	CRX	34,698	0,237	C15	CRX	17,264	0,449

Fuerza en Dirección Y - Piso 1			
Columna	Caso de Carga	V2	V3
		tonf	tonf
C1	CRY	0,625	35,343
C2	CRY	0,000	42,685
C3	CRY	-0,625	35,343
C4	CRY	0,096	38,347
C5	CRY	0,000	47,704
C6	CRY	-0,096	38,347
C7	CRY	0,000	38,360
C8	CRY	0,000	47,743
C9	CRY	0,000	38,360
C10	CRY	0,096	38,347
C11	CRY	0,000	47,704
C12	CRY	-0,096	38,347
C13	CRY	-0,625	35,343
C14	CRY	0,000	42,685
C15	CRY	0,625	35,343

Fuerza en Dirección Y - Piso 2			
Columna	Caso de Carga	V2	V3
		tonf	tonf
C1	CRY	1,308	17,058
C2	CRY	0,000	32,933
C3	CRY	-1,308	17,058
C4	CRY	0,213	23,176
C5	CRY	0,000	42,213
C6	CRY	-0,213	23,176
C7	CRY	0,000	23,234
C8	CRY	0,000	42,305
C9	CRY	0,000	23,234
C10	CRY	0,213	23,176
C11	CRY	0,000	42,213
C12	CRY	-0,213	23,176
C13	CRY	-1,308	17,058
C14	CRY	0,000	32,933
C15	CRY	1,308	17,058

1.2. Carga Sísmica Tipo 2.

Fuerza en Dirección X - Planta 1			
Columna	Caso de Carga	V2	V3
		tonf	tonf
C1	CRX	173,489	1,183
C2	CRX	181,478	-0,001
C3	CRX	173,488	-1,184
C4	CRX	213,539	0,422
C5	CRX	223,969	-0,001
C6	CRX	213,541	-0,423
C7	CRX	210,393	0,000
C8	CRX	220,164	-0,001
C9	CRX	210,388	-0,001
C10	CRX	213,541	0,423
C11	CRX	223,973	-0,002
C12	CRX	213,556	-0,427
C13	CRX	173,490	-1,182
C14	CRX	181,482	0,005
C15	CRX	173,510	1,189

Fuerza en Dirección X - Planta 2			
Columna	Caso de Carga	V2	V3
		tonf	tonf
C1	CRX	86,315	2,243
C2	CRX	100,415	-0,002
C3	CRX	86,313	-2,245
C4	CRX	158,038	0,794
C5	CRX	175,024	-0,001
C6	CRX	158,041	-0,796
C7	CRX	151,812	0,000
C8	CRX	168,009	-0,002
C9	CRX	151,803	-0,001
C10	CRX	158,043	0,796
C11	CRX	175,031	-0,003
C12	CRX	158,066	-0,802
C13	CRX	86,316	-2,242
C14	CRX	100,422	0,009
C15	CRX	86,352	2,253

Fuerza en Dirección Y - Planta 1			
Columna	Caso de Carga	V2	V3
		tonf	tonf
C1	CRY	3,125	176,715
C2	CRY	0,000	213,426
C3	CRY	-3,125	176,715
C4	CRY	0,479	191,734
C5	CRY	0,000	238,519
C6	CRY	-0,479	191,734
C7	CRY	0,000	191,800
C8	CRY	0,000	238,716
C9	CRY	0,001	191,800
C10	CRY	0,479	191,734
C11	CRY	0,000	238,519
C12	CRY	-0,480	191,734
C13	CRY	-3,125	176,715
C14	CRY	0,000	213,425
C15	CRY	3,124	176,715

Fuerza en Dirección Y - Planta 2			
Columna	Caso de Carga	V2	V3
		tonf	tonf
C1	CRY	6,539	85,290
C2	CRY	0,000	164,663
C3	CRY	-6,539	85,290
C4	CRY	1,067	115,881
C5	CRY	0,000	211,064
C6	CRY	-1,067	115,881
C7	CRY	0,000	116,170
C8	CRY	0,000	211,524
C9	CRY	0,001	116,170
C10	CRY	1,067	115,881
C11	CRY	0,000	211,064
C12	CRY	-1,068	115,881
C13	CRY	-6,539	85,290
C14	CRY	0,000	164,662
C15	CRY	6,537	85,289

Anexo N°11 – Esfuerzos en las Columnas ante efectos flexotorsionales en el Modelo 3.

1.1 Esfuerzos y FAT en las Columnas cuando se aplica una Función de Carga Sísmica en el Límite del LFE (CASO 1).

1.1.1 Radial L27.

Fuerza en Dirección 126° (LFE.D) - planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-2,961	-1,714	-0,085	-0,048
C2	-21,334	-1,800	-0,588	-0,042
C3	-37,830	-1,435	-1,090	-0,041
C4	-47,025	14,730	-1,101	0,384
C5	-26,330	18,518	-0,588	0,388
C6	-3,183	14,829	-0,075	0,387
C7	-3,064	31,034	-0,073	0,809
C8	-25,882	38,625	-0,588	0,809
C9	-46,403	31,034	-1,103	0,809
C10	-3,028	47,217	-0,071	1,231
C11	-26,330	58,668	-0,588	1,230
C12	-47,180	47,317	-1,105	1,234
C13	-3,972	58,900	-0,114	1,667
C14	-21,334	70,866	-0,588	1,660
C15	-36,818	58,621	-1,061	1,659

Fuerza en Dirección 126° (LFE.D) - planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	1,542	-0,517	0,089	-0,030
C2	-11,805	-0,346	-0,588	-0,011
C3	-21,836	0,010	-1,265	0,001
C4	-38,770	9,363	-1,227	0,404
C5	-20,576	17,212	-0,588	0,408
C6	1,611	9,550	0,051	0,412
C7	1,759	18,797	0,058	0,809
C8	-19,751	34,225	-0,588	0,809
C9	-37,453	18,797	-1,233	0,809
C10	1,956	27,950	0,062	1,206
C11	-20,576	51,090	-0,588	1,210
C12	-39,115	28,137	-1,237	1,214
C13	-0,574	28,118	-0,033	1,648
C14	-11,805	53,632	-0,588	1,629
C15	-19,720	27,590	-1,142	1,617

Fuerza en Dirección 135° (CIR cerca del CR) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-7,793	-4,225	-0,225	-0,120
C2	-25,665	-4,802	-0,707	-0,112
C3	-41,278	-3,890	-1,190	-0,110
C4	-51,314	11,414	-1,202	0,298
C5	-31,675	14,401	-0,707	0,302
C6	-9,085	11,534	-0,213	0,301
C7	-8,888	27,125	-0,211	0,707
C8	-31,136	33,760	-0,707	0,707
C9	-50,620	27,125	-1,203	0,707
C10	-8,949	42,697	-0,210	1,113
C11	-31,675	53,062	-0,707	1,112
C12	-51,450	42,816	-1,205	1,117
C13	-8,676	54,207	-0,250	1,534
C14	-25,665	65,168	-0,707	1,527
C15	-40,394	53,873	-1,164	1,524

Fuerza en Dirección 135° (CIR cerca del CR) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-1,046	-1,788	-0,061	-0,105
C2	-14,201	-2,701	-0,707	-0,082
C3	-23,369	-1,153	-1,354	-0,068
C4	-41,808	7,327	-1,323	0,316
C5	-24,753	13,538	-0,707	0,321
C6	-2,894	7,552	-0,092	0,326
C7	-2,591	16,429	-0,085	0,707
C8	-23,761	29,914	-0,707	0,707
C9	-40,349	16,429	-1,329	0,707
C10	-2,593	25,225	-0,082	1,088
C11	-24,753	46,160	-0,707	1,094
C12	-42,110	25,449	-1,332	1,098
C13	-2,895	25,912	-0,168	1,519
C14	-14,201	49,275	-0,707	1,496
C15	-21,519	25,277	-1,247	1,482

Fuerza en Dirección 108° (Eje Mayor P2) – Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	6,801	3,373	0,196	0,095
C2	-11,216	4,264	-0,309	0,100
C3	-28,246	3,519	-0,814	0,100
C4	-35,105	20,200	-0,822	0,527
C5	-13,842	25,294	-0,309	0,530
C6	8,710	20,252	0,204	0,528
C7	8,667	36,483	0,206	0,951
C8	-13,607	45,407	-0,309	0,951
C9	-34,673	36,483	-0,824	0,951
C10	8,892	52,688	0,208	1,374
C11	-13,842	65,444	-0,309	1,372
C12	-35,287	52,740	-0,826	1,375
C13	5,612	63,854	0,162	1,807
C14	-11,216	76,929	-0,309	1,802
C15	-27,057	63,708	-0,780	1,803

Fuerza en Dirección 108° (Eje Mayor P2) – Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	6,540	2,031	0,379	0,119
C2	-6,206	4,332	-0,309	0,132
C3	-17,210	2,308	-0,997	0,135
C4	-29,928	12,699	-0,947	0,548
C5	-10,818	23,208	-0,309	0,550
C6	10,392	12,797	0,329	0,552
C7	10,223	22,097	0,337	0,951
C8	-10,384	40,234	-0,309	0,951
C9	-28,989	22,097	-0,955	0,951
C10	10,798	31,286	0,342	1,350
C11	-10,818	57,086	-0,309	1,352
C12	-30,334	31,385	-0,960	1,354
C13	4,052	30,416	0,235	1,783
C14	-6,206	58,310	-0,309	1,771
C15	-14,722	30,138	-0,853	1,767

Fuerza en Dirección 18° (Eje Menor P2) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	30,512	15,925	0,879	0,451
C2	34,520	18,945	0,951	0,444
C3	35,488	15,475	1,023	0,438
C4	44,132	14,503	1,033	0,378
C5	42,602	17,921	0,951	0,376
C6	37,105	14,342	0,869	0,374
C7	36,587	11,854	0,869	0,309
C8	41,878	14,754	0,951	0,309
C9	43,452	11,854	1,033	0,309
C10	37,164	9,357	0,870	0,244
C11	42,602	11,562	0,951	0,242
C12	44,073	9,197	1,032	0,240
C13	30,126	5,919	0,868	0,167
C14	34,520	7,436	0,951	0,174
C15	35,874	6,369	1,034	0,180

Fuerza en Dirección 18° (Eje Menor P2) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	15,139	7,924	0,877	0,465
C2	19,101	14,451	0,951	0,439
C3	17,698	7,070	1,025	0,414
C4	33,353	8,785	1,055	0,379
C5	33,293	15,727	0,951	0,373
C6	26,771	8,483	0,847	0,366
C7	25,772	7,180	0,849	0,309
C8	31,958	13,073	0,951	0,309
C9	31,982	7,180	1,053	0,309
C10	26,903	5,841	0,851	0,252
C11	33,293	10,362	0,951	0,245
C12	33,221	5,539	1,051	0,239
C13	14,331	2,619	0,830	0,154
C14	19,101	5,902	0,951	0,179
C15	18,507	3,472	1,072	0,204

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación en Y) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	15,897	8,129	0,458	0,230
C2	0,000	9,909	0,000	0,232
C3	-15,897	8,129	-0,458	0,230
C4	-19,749	23,693	-0,462	0,618
C5	0,000	29,594	0,000	0,620
C6	19,749	23,693	0,462	0,618
C7	19,549	38,360	0,465	1,000
C8	0,000	47,743	0,000	1,000
C9	-19,549	38,360	-0,465	1,000
C10	19,941	53,000	0,467	1,382
C11	0,000	65,814	0,000	1,380
C12	-19,941	53,000	-0,467	1,382
C13	14,647	62,557	0,422	1,770
C14	0,000	75,461	0,000	1,768
C15	-14,647	62,557	-0,422	1,770

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación en Y) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	10,898	4,380	0,631	0,257
C2	0,000	8,585	0,000	0,261
C3	-10,898	4,380	-0,631	0,257
C4	-18,156	14,792	-0,574	0,638
C5	0,000	26,932	0,000	0,638
C6	18,156	14,792	0,574	0,638
C7	17,687	23,234	0,583	1,000
C8	0,000	42,305	0,000	1,000
C9	-17,687	23,234	-0,583	1,000
C10	18,583	31,560	0,588	1,362
C11	0,000	57,494	0,000	1,362
C12	-18,583	31,560	-0,588	1,362
C13	8,283	29,736	0,480	1,743
C14	0,000	57,280	0,000	1,739
C15	-8,283	29,736	-0,480	1,743

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación en X) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	26,917	14,103	0,776	0,399
C2	36,296	16,700	1,000	0,391
C3	42,480	13,630	1,224	0,386
C4	52,820	7,551	1,237	0,197
C5	44,795	9,227	1,000	0,193
C6	32,597	7,382	0,763	0,193
C7	32,119	0,000	0,763	0,000
C8	44,033	0,000	1,000	0,000
C9	52,040	0,000	1,237	0,000
C10	32,597	-7,382	0,763	-0,193
C11	44,795	-9,227	1,000	-0,193
C12	52,820	-7,551	1,237	-0,197
C13	26,917	-14,103	0,776	-0,399
C14	36,296	-16,700	1,000	-0,391
C15	42,480	-13,630	1,224	-0,386

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación en X) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	12,377	6,909	0,717	0,405
C2	20,084	12,406	1,000	0,377
C3	22,150	6,011	1,283	0,352
C4	40,969	4,431	1,296	0,191
C5	35,006	7,786	1,000	0,184
C6	22,249	4,113	0,704	0,177
C7	21,351	0,000	0,703	0,000
C8	33,603	0,000	1,000	0,000
C9	39,375	0,000	1,297	0,000
C10	22,249	-4,113	0,704	-0,177
C11	35,006	-7,786	1,000	-0,184
C12	40,969	-4,431	1,296	-0,191
C13	12,377	-6,909	0,717	-0,405
C14	20,084	-12,406	1,000	-0,377
C15	22,150	-6,011	1,283	-0,352

1.1.2 Radial L35.

Fuerza en Dirección 126° (LFE.D) - planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-15,079	-8,072	0,087	0,046
C2	-106,669	-8,401	0,588	0,039
C3	-188,867	-6,681	1,089	0,038
C4	-234,758	73,916	1,099	0,386
C5	-131,645	92,922	0,588	0,390
C6	-16,271	74,413	0,076	0,388
C7	-15,672	155,170	0,074	0,809
C8	-129,408	193,127	0,588	0,809
C9	-231,653	155,170	1,101	0,809
C10	-15,497	235,819	0,073	1,230
C11	-131,648	293,013	0,588	1,228
C12	-235,548	236,320	1,103	1,233
C13	-20,136	294,002	0,116	1,664
C14	-106,673	353,727	0,588	1,657
C15	-183,831	292,607	1,059	1,656

Fuerza en Dirección 126° (LFE.D) - planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	7,5369	-2,3549	0,087	0,028
C2	-59,0209	-1,2853	0,588	0,008
C3	-109,0023	0,283	1,263	0,003
C4	-193,507	46,9675	1,224	0,405
C5	-102,8745	86,3371	0,588	0,409
C6	7,7246	47,9016	0,049	0,413
C7	8,4766	93,9837	0,056	0,809
C8	-98,7512	171,1286	0,588	0,809
C9	-186,9315	93,985	1,231	0,809
C10	9,4496	139,5967	0,060	1,205
C11	-102,8804	255,1763	0,588	1,209
C12	-195,2598	140,5389	1,235	1,213
C13	-3,0445	140,3556	0,035	1,646
C14	-59,0277	267,7083	0,588	1,626
C15	-98,4584	137,7119	1,140	1,615

Fuerza en Dirección 145° (CIR cerca del CR) - planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-60,834	-41,256	0,351	0,233
C2	-148,657	-48,177	0,819	0,226
C3	-223,391	-39,317	1,288	0,222
C4	-277,936	33,359	1,302	0,174
C5	-183,464	42,551	0,819	0,178
C6	-71,905	34,051	0,337	0,178
C7	-70,596	110,012	0,336	0,574
C8	-180,346	136,923	0,819	0,574
C9	-274,084	110,013	1,303	0,574
C10	-71,357	185,897	0,334	0,970
C11	-183,468	231,070	0,819	0,969
C12	-278,504	186,595	1,304	0,973
C13	-64,420	243,974	0,371	1,381
C14	-148,662	293,004	0,819	1,373
C15	-219,832	242,031	1,267	1,370

Fuerza en Dirección 145° (CIR cerca del CR) - planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-17,037	-18,904	0,197	0,222
C2	-82,254	-32,274	0,819	0,196
C3	-124,369	-15,227	1,441	0,179
C4	-224,454	22,180	1,420	0,191
C5	-143,370	41,527	0,819	0,197
C6	-34,459	23,482	0,218	0,203
C7	-32,299	66,633	0,213	0,574
C8	-137,623	121,328	0,819	0,574
C9	-216,403	66,634	1,426	0,574
C10	-33,237	109,451	0,210	0,945
C11	-143,377	200,601	0,819	0,950
C12	-225,710	110,763	1,428	0,956
C13	-24,540	116,743	0,284	1,369
C14	-82,262	221,159	0,819	1,343
C15	-116,912	113,060	1,354	1,326

Fuerza en Dirección 116° (Eje Mayor P2) - Piso 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	9,992	9,985	0,058	0,057
C2	-79,554	13,187	-0,438	0,062
C3	-162,095	11,022	-0,934	0,062
C4	-201,340	92,277	-0,943	0,481
C5	-98,180	115,676	-0,438	0,485
C6	14,123	92,648	0,066	0,483
C7	14,316	172,389	0,068	0,899
C8	-96,512	214,558	-0,438	0,899
C9	-198,771	172,389	-0,945	0,899
C10	14,983	252,010	0,070	1,314
C11	-98,183	313,085	-0,438	1,313
C12	-202,214	252,385	-0,947	1,316
C13	4,374	307,675	0,025	1,741
C14	-79,557	370,461	-0,438	1,736
C15	-156,495	306,635	-0,902	1,735

Fuerza en Dirección 116° (Eje Mayor P2) - Piso 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	20,311	6,576	0,235	0,077
C2	-44,018	15,300	-0,438	0,093
C3	-95,983	8,543	-1,112	0,100
C4	-168,438	58,110	-1,066	0,501
C5	-76,723	106,417	-0,438	0,504
C6	29,882	58,807	0,189	0,507
C7	29,850	104,413	0,197	0,899
C8	-73,648	190,118	-0,438	0,899
C9	-162,940	104,414	-1,073	0,899
C10	31,799	149,498	0,201	1,290
C11	-76,728	272,993	-0,438	1,293
C12	-170,378	150,202	-1,078	1,296
C13	8,555	146,739	0,099	1,720
C14	-44,023	280,690	-0,438	1,705
C15	-84,259	144,767	-0,976	1,697

Fuerza en Dirección 27° (Eje Menor P2) - Piso 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	143,507	103,110	0,827	0,583
C2	163,112	123,163	0,899	0,577
C3	168,354	100,983	0,970	0,571
C4	210,062	97,665	0,984	0,509
C5	201,302	120,916	0,899	0,507
C6	173,795	96,906	0,814	0,505
C7	171,443	84,080	0,815	0,438
C8	197,882	104,645	0,899	0,438
C9	206,752	84,079	0,983	0,438
C10	174,215	71,195	0,816	0,371
C11	201,306	88,201	0,899	0,370
C12	209,657	70,431	0,982	0,367
C13	140,768	51,824	0,811	0,293
C14	163,115	63,961	0,899	0,300
C15	171,114	53,954	0,986	0,305

Fuerza en Dirección 27° (Eje Menor P2) - Piso 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	71,784	50,855	0,832	0,596
C2	90,252	94,172	0,899	0,572
C3	83,373	46,822	0,966	0,549
C4	159,103	59,085	1,007	0,510
C5	157,311	106,325	0,899	0,504
C6	124,987	57,656	0,791	0,498
C7	120,473	50,926	0,794	0,438
C8	151,006	92,724	0,899	0,438
C9	152,415	50,925	1,004	0,438
C10	125,923	43,942	0,797	0,379
C11	157,317	78,719	0,899	0,373
C12	158,194	42,505	1,001	0,367
C13	66,052	23,923	0,765	0,280
C14	90,259	50,201	0,899	0,305
C15	89,142	27,962	1,032	0,328

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación X) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	124,603	88,298	0,718	0,500
C2	181,478	104,917	1,000	0,492
C3	222,373	85,931	1,282	0,486
C4	277,064	47,329	1,297	0,247
C5	223,969	57,970	1,000	0,243
C6	150,015	46,484	0,703	0,242
C7	147,816	0,000	0,703	0,000
C8	220,163	-0,001	1,000	0,000
C9	272,963	-0,001	1,297	0,000
C10	150,015	-46,484	0,703	-0,242
C11	223,973	-57,973	1,000	-0,243
C12	277,083	-47,335	1,297	-0,247
C13	124,604	-88,297	0,718	-0,500
C14	181,483	-104,912	1,000	-0,492
C15	222,399	-85,926	1,282	-0,486

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación X) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	55,615	42,826	0,644	0,502
C2	100,414	77,934	1,000	0,473
C3	117,011	38,338	1,356	0,450
C4	216,839	27,631	1,372	0,238
C5	175,023	48,915	1,000	0,232
C6	99,238	26,042	0,628	0,225
C7	95,195	0,000	0,627	0,000
C8	168,008	-0,002	1,000	0,000
C9	208,418	-0,002	1,373	0,000
C10	99,239	-26,041	0,628	-0,225
C11	175,031	-48,920	1,000	-0,232
C12	216,872	-27,641	1,372	-0,239
C13	55,616	-42,824	0,644	-0,502
C14	100,423	-77,926	1,000	-0,473
C15	117,057	-38,329	1,356	-0,449

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación Y) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	71,890	54,175	0,414	0,307
C2	0,001	65,843	0,000	0,309
C3	-71,889	54,175	-0,414	0,307
C4	-88,878	125,752	-0,416	0,656
C5	0,001	156,975	0,000	0,658
C6	88,880	125,752	0,416	0,656
C7	88,023	191,800	0,418	1,000
C8	0,001	238,717	0,000	1,000
C9	-88,020	191,800	-0,418	1,000
C10	89,838	257,715	0,421	1,344
C11	0,000	320,064	0,000	1,342
C12	-89,841	257,717	-0,421	1,344
C13	65,640	299,255	0,378	1,693
C14	-0,001	361,007	0,000	1,691
C15	-65,646	299,254	-0,378	1,693

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación Y) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	49,723	28,204	0,576	0,331
C2	0,001	55,034	0,000	0,334
C3	-49,721	28,204	-0,576	0,331
C4	-81,645	78,130	-0,517	0,674
C5	0,002	142,257	0,000	0,674
C6	81,649	78,130	0,517	0,674
C7	79,641	116,170	0,525	1,000
C8	0,002	211,525	0,000	1,000
C9	-79,636	116,171	-0,525	1,000
C10	83,782	153,631	0,530	1,326
C11	0,000	279,873	0,000	1,326
C12	-83,787	153,634	-0,530	1,326
C13	36,645	142,375	0,425	1,669
C14	-0,001	274,289	0,000	1,666
C15	-36,654	142,373	-0,424	1,669

1.2 Esfuerzos y FAT en las Columnas cuando se aplica una Función de Carga Sísmica entre el LFE y NCT (CASO 2).

1.2.1 Radial L27.

Fuerza en Dirección 126° (LFE.D) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-0,249	-6,546	-0,007	-0,185
C2	-21,334	-7,620	-0,588	-0,179
C3	-40,541	-6,268	-1,168	-0,177
C4	-50,549	12,128	-1,184	0,316
C5	-26,330	15,303	-0,588	0,321
C6	0,342	12,227	0,008	0,319
C7	0,408	31,034	0,010	0,809
C8	-25,882	38,625	-0,588	0,809
C9	-49,875	31,034	-1,185	0,809
C10	0,497	49,819	0,012	1,299
C11	-26,330	61,884	-0,588	1,297
C12	-50,704	49,919	-1,187	1,302
C13	-1,260	63,732	-0,036	1,803
C14	-21,334	76,686	-0,588	1,797
C15	-39,530	63,454	-1,139	1,795

Fuerza en Dirección 126° (LFE.D) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	3,245	-2,769	0,188	-0,162
C2	-11,805	-4,669	-0,588	-0,142
C3	-23,539	-2,241	-1,364	-0,131
C4	-42,032	7,874	-1,330	0,340
C5	-20,576	14,498	-0,588	0,343
C6	4,873	8,061	0,154	0,348
C7	4,900	18,797	0,161	0,809
C8	-19,751	34,225	-0,588	0,809
C9	-40,594	18,797	-1,337	0,809
C10	5,218	29,439	0,165	1,270
C11	-20,576	53,804	-0,588	1,275
C12	-42,377	29,626	-1,341	1,278
C13	1,129	30,369	0,065	1,780
C14	-11,805	57,955	-0,588	1,760
C15	-21,423	29,841	-1,241	1,749

Fuerza en Dirección 135° (CIR cerca del CR) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-5,205	-8,835	-0,150	-0,250
C2	-25,665	-10,355	-0,707	-0,243
C3	-43,866	-8,501	-1,264	-0,241
C4	-54,677	8,932	-1,280	0,233
C5	-31,675	11,333	-0,707	0,238
C6	-5,723	9,051	-0,134	0,236
C7	-5,576	27,125	-0,133	0,707
C8	-31,136	33,760	-0,707	0,707
C9	-53,932	27,125	-1,282	0,707
C10	-5,587	45,179	-0,131	1,178
C11	-31,675	56,130	-0,707	1,177
C12	-54,812	45,299	-1,283	1,181
C13	-6,089	58,818	-0,175	1,664
C14	-25,665	70,721	-0,707	1,657
C15	-42,982	58,483	-1,239	1,655

Fuerza en Dirección 135° (CIR cerca del CR) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	0,579	-3,936	0,034	-0,231
C2	-14,201	-6,826	-0,707	-0,207
C3	-24,993	-3,301	-1,448	-0,194
C4	-44,920	5,906	-1,421	0,255
C5	-24,753	10,949	-0,707	0,259
C6	0,218	6,131	0,007	0,265
C7	0,405	16,429	0,013	0,707
C8	-23,761	29,914	-0,707	0,707
C9	-43,345	16,429	-1,428	0,707
C10	0,520	26,645	0,016	1,150
C11	-24,753	48,749	-0,707	1,155
C12	-45,222	26,870	-1,431	1,159
C13	-1,271	28,060	-0,074	1,645
C14	-14,201	53,400	-0,707	1,621
C15	-23,144	27,425	-1,341	1,608

Fuerza en Dirección 109° (Eje Mayor P1) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	9,031	-1,831	0,260	-0,052
C2	-11,817	-1,999	-0,326	-0,047
C3	-31,624	-1,677	-0,911	-0,047
C4	-39,461	17,292	-0,924	0,451
C5	-14,584	21,700	-0,326	0,455
C6	11,652	17,347	0,273	0,452
C7	11,564	36,270	0,275	0,946
C8	-14,336	45,142	-0,326	0,946
C9	-38,964	36,270	-0,926	0,946
C10	11,833	55,168	0,277	1,439
C11	-14,584	68,509	-0,326	1,436
C12	-39,642	55,223	-0,928	1,440
C13	7,849	68,666	0,226	1,943
C14	-11,817	82,718	-0,326	1,938
C15	-30,442	68,512	-0,877	1,938

Fuerza en Dirección 103° (Eje Mayor P1) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	8,010	-0,402	0,464	-0,024
C2	-6,539	-0,327	-0,326	-0,010
C3	-19,251	-0,110	-1,115	-0,006
C4	-33,830	11,027	-1,070	0,476
C5	-11,397	20,164	-0,326	0,478
C6	13,248	11,130	0,419	0,480
C7	12,973	21,968	0,427	0,946
C8	-10,940	40,000	-0,326	0,946
C9	-32,743	21,968	-1,078	0,946
C10	13,651	32,697	0,432	1,411
C11	-11,397	59,662	-0,326	1,413
C12	-34,233	32,800	-1,083	1,415
C13	5,537	32,660	0,321	1,915
C14	-6,539	62,604	-0,326	1,901
C15	-16,778	32,367	-0,972	1,897

Fuerza en Dirección 27° (Eje Menor P2) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	30,390	16,401	0,876	0,464
C2	34,319	19,523	0,946	0,457
C3	35,226	15,954	1,015	0,451
C4	43,819	15,080	1,026	0,393
C5	42,354	18,639	0,946	0,391
C6	36,944	14,920	0,865	0,389
C7	36,431	12,489	0,866	0,326
C8	41,634	15,544	0,946	0,326
C9	43,142	12,489	1,025	0,326
C10	37,007	10,049	0,866	0,262
C11	42,354	12,423	0,946	0,260
C12	43,757	9,889	1,025	0,258
C13	29,983	6,612	0,864	0,187
C14	34,319	8,271	0,946	0,194
C15	35,633	7,059	1,027	0,200

Fuerza en Dirección 27° (Eje Menor P2) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	15,103	8,154	0,875	0,478
C2	18,990	14,901	0,946	0,452
C3	17,543	7,305	1,016	0,428
C4	33,109	9,135	1,047	0,394
C5	33,099	16,366	0,946	0,388
C6	26,665	8,834	0,844	0,381
C7	25,673	7,564	0,846	0,326
C8	31,772	13,773	0,946	0,326
C9	31,745	7,564	1,045	0,326
C10	26,804	6,257	0,848	0,270
C11	33,099	11,120	0,946	0,263
C12	32,971	5,956	1,043	0,257
C13	14,251	2,953	0,825	0,173
C14	18,990	6,543	0,946	0,199
C15	18,395	3,802	1,066	0,223

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación Y) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	18,433	3,609	0,531	0,102
C2	0,000	4,466	0,000	0,105
C3	-18,433	3,609	-0,531	0,102
C4	-23,045	21,259	-0,540	0,554
C5	0,000	26,586	0,000	0,557
C6	23,045	21,259	0,540	0,554
C7	22,795	38,360	0,542	1,000
C8	0,000	47,743	0,000	1,000
C9	-22,795	38,360	-0,542	1,000
C10	23,237	55,434	0,544	1,446
C11	0,000	68,821	0,000	1,443
C12	-23,237	55,434	-0,544	1,446
C13	17,183	67,077	0,495	1,898
C14	0,000	80,905	0,000	1,895
C15	-17,183	67,077	-0,495	1,898

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación Y) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	12,491	2,274	0,724	0,133
C2	0,000	4,542	0,000	0,138
C3	-12,491	2,274	-0,724	0,133
C4	-21,207	13,400	-0,671	0,578
C5	0,000	24,394	0,000	0,578
C6	21,207	13,400	0,671	0,578
C7	20,624	23,234	0,679	1,000
C8	0,000	42,305	0,000	1,000
C9	-20,624	23,234	-0,679	1,000
C10	21,634	32,952	0,684	1,422
C11	0,000	60,032	0,000	1,422
C12	-21,634	32,952	-0,684	1,422
C13	9,875	31,842	0,572	1,867
C14	0,000	61,323	0,000	1,862
C15	-9,875	31,842	-0,572	1,867

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación X) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	25,794	16,104	0,743	0,456
C2	36,296	19,110	1,000	0,448
C3	43,602	15,631	1,257	0,442
C4	54,279	8,628	1,271	0,225
C5	44,795	10,559	1,000	0,221
C6	31,138	8,459	0,729	0,221
C7	30,681	0,000	0,729	0,000
C8	44,033	0,000	1,000	0,000
C9	53,477	0,000	1,271	0,000
C10	31,138	-8,459	0,729	-0,221
C11	44,795	-10,559	1,000	-0,221
C12	54,279	-8,628	1,271	-0,225
C13	25,794	-16,104	0,743	-0,456
C14	36,296	-19,110	1,000	-0,448
C15	43,602	-15,631	1,257	-0,442

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación X) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	11,672	7,841	0,676	0,460
C2	20,084	14,195	1,000	0,431
C3	22,855	6,943	1,324	0,407
C4	42,319	5,047	1,339	0,218
C5	35,006	8,910	1,000	0,211
C6	20,899	4,729	0,661	0,204
C7	20,051	0,000	0,660	0,000
C8	33,603	0,000	1,000	0,000
C9	40,675	0,000	1,340	0,000
C10	20,899	-4,729	0,661	-0,204
C11	35,006	-8,910	1,000	-0,211
C12	42,319	-5,047	1,339	-0,218
C13	11,672	-7,841	0,676	-0,460
C14	20,084	-14,195	1,000	-0,431
C15	22,855	-6,943	1,324	-0,407

1.2.2 Radial L35.

Fuerza en Dirección 126° (LFE) - planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	5,1038	-44,0383	0,029	-0,249
C2	-106,6692	-51,7174	-0,588	-0,242
C3	-209,0498	-42,6472	-1,205	-0,241
C4	-260,9847	54,5497	-1,222	0,285
C5	-131,6443	68,9878	-0,588	0,289
C6	9,9565	55,0462	0,047	0,287
C7	10,1636	155,1695	0,048	0,809
C8	-129,4076	193,1265	-0,588	0,809
C9	-257,4883	155,1703	-1,224	0,809
C10	10,7307	255,185	0,050	1,331
C11	-131,6481	316,9469	-0,588	1,329
C12	-261,7765	255,6865	-1,226	1,334
C13	0,047	329,9684	0,000	1,867
C14	-106,6733	397,0432	-0,588	1,860
C15	-204,0157	328,5738	-1,176	1,859

Fuerza en Dirección 126° (LFE) - planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	20,2117	-19,1102	0,234	-0,224
C2	-59,0206	-33,4624	-0,588	-0,203
C3	-121,6766	-16,4723	-1,410	-0,193
C4	-217,7839	35,8873	-1,378	0,310
C5	-102,874	66,1415	-0,588	0,313
C6	32,0024	36,8215	0,202	0,318
C7	31,8518	93,9837	0,210	0,809
C8	-98,7508	171,1287	-0,588	0,809
C9	-210,3056	93,9851	-1,385	0,809
C10	33,7273	150,6769	0,213	1,300
C11	-102,8804	275,3722	-0,588	1,305
C12	-219,5387	151,6196	-1,389	1,308
C13	9,6303	157,1108	0,112	1,842
C14	-59,0279	299,8849	-0,588	1,821
C15	-111,1354	154,4666	-1,287	1,811

Fuerza en Dirección 145° (CIR cerca del CR) - planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-41,8181	-75,1426	-0,241	-0,425
C2	-148,6573	-88,989	-0,819	-0,417
C3	-242,4069	-73,204	-1,397	-0,414
C4	-302,646	15,1121	-1,417	0,079
C5	-183,4635	20,0012	-0,819	0,084
C6	-47,1945	15,8041	-0,221	0,082
C7	-46,2544	110,012	-0,220	0,574
C8	-180,3462	136,9233	-0,819	0,574
C9	-298,4253	110,0129	-1,418	0,574
C10	-46,6459	204,1434	-0,218	1,065
C11	-183,468	253,62	-0,819	1,063
C12	-303,2156	204,8414	-1,420	1,068
C13	-45,4037	277,8608	-0,262	1,572
C14	-148,6622	333,8159	-0,819	1,564
C15	-238,8487	275,918	-1,377	1,561

Fuerza en Dirección 145° (CIR cerca del CR) - planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-5,0955	-34,6901	-0,059	-0,407
C2	-82,2534	-62,5904	-0,819	-0,380
C3	-136,31	-31,0138	-1,579	-0,364
C4	-247,3268	11,7401	-1,565	0,101
C5	-143,3691	22,4991	-0,819	0,107
C6	-11,5853	13,042	-0,073	0,113
C7	-10,2755	66,6325	-0,068	0,574
C8	-137,6228	121,3277	-0,819	0,574
C9	-238,4254	66,6341	-1,571	0,574
C10	-10,363	119,8903	-0,066	1,035
C11	-143,3767	219,6295	-0,819	1,041
C12	-248,5849	121,2025	-1,573	1,046
C13	-12,5981	132,5291	-0,146	1,554
C14	-82,2622	251,4749	-0,819	1,527
C15	-128,8555	128,8454	-1,492	1,511

Fuerza en Dirección 119° (Eje Mayor P2) - Piso 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	22,526	-31,169	0,130	-0,176
C2	-87,981	-36,325	-0,485	-0,170
C3	-190,742	-30,021	-1,099	-0,170
C4	-238,122	67,793	-1,115	0,354
C5	-108,581	85,404	-0,485	0,358
C6	31,072	68,203	0,146	0,356
C7	30,999	167,752	0,147	0,875
C8	-106,736	208,787	-0,485	0,875
C9	-234,994	167,753	-1,117	0,875
C10	31,910	267,185	0,149	1,394
C11	-108,584	331,826	-0,485	1,391
C12	-238,975	267,599	-1,119	1,396
C13	17,059	340,285	0,098	1,926
C14	-87,985	409,654	-0,485	1,919
C15	-185,295	339,134	-1,068	1,919

Fuerza en Dirección 119° (Eje Mayor P2) - Piso 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	29,122	-12,746	0,337	-0,149
C2	-48,680	-21,627	-0,485	-0,131
C3	-112,811	-10,570	-1,307	-0,124
C4	-200,660	43,927	-1,270	0,379
C5	-84,851	80,636	-0,485	0,382
C6	47,427	44,697	0,300	0,386
C7	46,734	101,605	0,308	0,875
C8	-81,450	185,005	-0,485	0,875
C9	-193,923	101,606	-1,277	0,875
C10	49,292	158,005	0,312	1,364
C11	-84,857	288,570	-0,485	1,367
C12	-202,552	158,783	-1,281	1,370
C13	17,683	161,937	0,205	1,899
C14	-48,687	309,655	-0,485	1,881
C15	-101,407	159,756	-1,174	1,873

Fuerza en Dirección 26° (Eje Menor P2) - Piso 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	141,579	107,508	0,816	0,608
C2	158,724	128,521	0,875	0,602
C3	161,893	105,438	0,933	0,597
C4	202,166	104,523	0,947	0,545
C5	195,888	129,477	0,875	0,543
C6	171,367	103,785	0,803	0,541
C7	169,072	92,987	0,804	0,485
C8	192,559	115,731	0,875	0,485
C9	198,951	92,986	0,946	0,485
C10	171,832	82,124	0,805	0,428
C11	195,891	101,793	0,875	0,427
C12	201,716	81,381	0,945	0,424
C13	138,550	63,839	0,799	0,361
C14	158,728	78,424	0,875	0,367
C15	164,943	65,912	0,951	0,373

Fuerza en Dirección 26° (Eje Menor P2) - Piso 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	71,333	53,001	0,826	0,621
C2	87,825	98,437	0,875	0,598
C3	79,651	49,076	0,923	0,575
C4	152,780	63,282	0,967	0,546
C5	153,080	114,004	0,875	0,540
C6	123,668	61,892	0,783	0,534
C7	119,260	56,321	0,786	0,485
C8	146,944	102,547	0,875	0,485
C9	146,288	56,319	0,964	0,485
C10	124,704	50,468	0,789	0,436
C11	153,085	90,643	0,875	0,429
C12	151,771	49,070	0,960	0,423
C13	64,993	29,699	0,753	0,348
C14	87,831	61,229	0,875	0,372
C15	86,026	33,629	0,996	0,394

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación Y) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	88,341	24,860	0,509	0,141
C2	0,001	30,538	0,000	0,143
C3	-88,339	24,860	-0,509	0,141
C4	-110,254	109,967	-0,516	0,574
C5	0,001	137,468	0,000	0,576
C6	110,257	109,967	0,516	0,574
C7	109,081	191,800	0,518	1,000
C8	0,001	238,717	0,000	1,000
C9	-109,077	191,800	-0,518	1,000
C10	111,214	273,500	0,521	1,426
C11	0,000	339,571	0,000	1,424
C12	-111,218	273,502	-0,521	1,426
C13	82,091	328,570	0,473	1,859
C14	-0,001	396,312	0,000	1,857
C15	-82,097	328,568	-0,473	1,859

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación Y) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	60,054	14,548	0,696	0,171
C2	0,002	28,808	0,000	0,175
C3	-60,051	14,548	-0,696	0,171
C4	-101,432	69,099	-0,642	0,596
C5	0,002	125,797	0,000	0,596
C6	101,437	69,099	0,642	0,596
C7	98,693	116,170	0,650	1,000
C8	0,002	211,525	0,000	1,000
C9	-98,687	116,171	-0,650	1,000
C10	103,570	162,662	0,655	1,404
C11	0,000	296,334	0,000	1,404
C12	-103,576	162,665	-0,655	1,404
C13	46,975	156,032	0,544	1,829
C14	-0,001	300,515	0,000	1,825
C15	-46,987	156,030	-0,544	1,829

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación X) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	112,907	109,140	0,651	0,618
C2	181,478	130,018	1,000	0,609
C3	234,069	106,773	1,349	0,604
C4	292,262	58,552	1,369	0,305
C5	223,968	71,839	1,000	0,301
C6	134,816	57,707	0,631	0,301
C7	132,845	0,000	0,631	0,000
C8	220,163	-0,001	1,000	0,000
C9	287,933	-0,001	1,369	0,000
C10	134,817	-57,706	0,631	-0,301
C11	223,973	-71,842	1,000	-0,301
C12	292,282	-58,557	1,369	-0,305
C13	112,908	-109,139	0,651	-0,618
C14	181,483	-130,013	1,000	-0,609
C15	234,096	-106,768	1,349	-0,604

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación X) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	48,270	52,535	0,559	0,616
C2	100,414	96,580	1,000	0,587
C3	124,356	48,047	1,441	0,563
C4	230,907	34,052	1,461	0,294
C5	175,023	60,617	1,000	0,287
C6	85,170	32,462	0,539	0,280
C7	81,650	0,000	0,538	0,000
C8	168,008	-0,002	1,000	0,000
C9	221,962	-0,002	1,462	0,000
C10	85,171	-32,462	0,539	-0,280
C11	175,031	-60,623	1,000	-0,287
C12	230,941	-34,062	1,461	-0,294
C13	48,272	-52,534	0,559	-0,616
C14	100,423	-96,571	1,000	-0,586
C15	124,403	-48,038	1,441	-0,563

1.3 Esfuerzos y FAT en las Columnas cuando se aplica una Función de Carga Sísmica en el Límite del NCT (Caso 3).

1.3.1 Radial L27.

Fuerza en Dirección 126° (LFE.D) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	2,537	-11,510	0,073	-0,326
C2	-21,334	-13,598	-0,588	-0,319
C3	-43,327	-11,232	-1,249	-0,318
C4	-54,168	9,455	-1,268	0,247
C5	-26,330	11,999	-0,588	0,252
C6	3,961	9,554	0,093	0,249
C7	3,973	31,034	0,094	0,809
C8	-25,882	38,625	-0,588	0,809
C9	-53,440	31,034	-1,270	0,809
C10	4,116	52,492	0,096	1,369
C11	-26,330	65,187	-0,588	1,366
C12	-54,323	52,591	-1,272	1,371
C13	1,525	68,696	0,044	1,944
C14	-21,334	82,664	-0,588	1,937
C15	-42,316	68,418	-1,220	1,936

Fuerza en Dirección 126° (LFE.D) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	4,994	-5,081	0,289	-0,298
C2	-11,805	-9,110	-0,588	-0,277
C3	-25,289	-4,554	-1,465	-0,267
C4	-45,382	6,345	-1,436	0,274
C5	-20,576	11,711	-0,588	0,277
C6	8,224	6,532	0,260	0,282
C7	8,126	18,797	0,268	0,809
C8	-19,751	34,225	-0,588	0,809
C9	-43,820	18,797	-1,443	0,809
C10	8,569	30,968	0,271	1,336
C11	-20,576	56,591	-0,588	1,341
C12	-45,727	31,155	-1,447	1,344
C13	2,878	32,681	0,167	1,916
C14	-11,805	62,396	-0,588	1,895
C15	-23,172	32,154	-1,342	1,885

Fuerza en Dirección 135° (CIR cerca del CR) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-2,526	-13,609	-0,073	-0,385
C2	-25,665	-16,104	-0,707	-0,377
C3	-46,544	-13,274	-1,341	-0,376
C4	-58,158	6,361	-1,362	0,166
C5	-31,675	8,157	-0,707	0,171
C6	-2,242	6,481	-0,052	0,169
C7	-2,147	27,125	-0,051	0,707
C8	-31,136	33,760	-0,707	0,707
C9	-57,361	27,125	-1,363	0,707
C10	-2,106	47,750	-0,049	1,245
C11	-31,675	59,307	-0,707	1,243
C12	-58,293	47,869	-1,365	1,248
C13	-3,410	63,592	-0,098	1,799
C14	-25,665	76,470	-0,707	1,791
C15	-45,660	63,257	-1,316	1,790

Fuerza en Dirección 135° (CIR cerca del CR) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	2,261	-6,160	0,131	-0,361
C2	-14,201	-11,097	-0,707	-0,337
C3	-26,676	-5,525	-1,545	-0,324
C4	-48,142	4,436	-1,523	0,191
C5	-24,753	8,269	-0,707	0,196
C6	3,440	4,661	0,109	0,201
C7	3,508	16,429	0,116	0,707
C8	-23,761	29,914	-0,707	0,707
C9	-46,448	16,429	-1,530	0,707
C10	3,742	28,116	0,118	1,213
C11	-24,753	51,429	-0,707	1,218
C12	-48,444	28,340	-1,533	1,223
C13	0,412	30,283	0,024	1,775
C14	-14,201	57,670	-0,707	1,751
C15	-24,826	29,649	-1,438	1,738

Fuerza en Dirección 111° (Eje Mayor P2) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	10,775	-7,410	0,311	-0,210
C2	-13,007	-8,711	-0,358	-0,204
C3	-35,645	-7,241	-1,027	-0,205
C4	-44,619	14,059	-1,045	0,367
C5	-16,053	17,704	-0,358	0,371
C6	14,008	14,119	0,328	0,368
C7	13,883	35,812	0,330	0,934
C8	-15,780	44,572	-0,358	0,934
C9	-44,043	35,812	-1,047	0,934
C10	14,187	57,480	0,332	1,499
C11	-16,053	71,367	-0,358	1,496
C12	-44,797	57,541	-1,049	1,501
C13	9,608	73,401	0,277	2,077
C14	-13,007	88,411	-0,358	2,071
C15	-34,478	73,232	-0,994	2,072

Fuerza en Dirección 111° (Eje Mayor P2) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	9,243	-3,020	0,535	-0,177
C2	-7,197	-5,328	-0,358	-0,162
C3	-21,617	-2,698	-1,252	-0,158
C4	-38,345	9,158	-1,213	0,395
C5	-12,545	16,769	-0,358	0,397
C6	15,690	9,272	0,496	0,400
C7	15,324	21,691	0,505	0,934
C8	-12,042	39,495	-0,358	0,934
C9	-37,086	21,691	-1,221	0,934
C10	16,088	34,001	0,509	1,467
C11	-12,545	62,050	-0,358	1,470
C12	-38,743	34,115	-1,226	1,472
C13	6,801	34,870	0,394	2,044
C14	-7,197	66,818	-0,358	2,029
C15	-19,175	34,548	-1,111	2,025

Fuerza en Dirección 21° (Eje Menor P2) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	30,596	16,684	0,882	0,472
C2	33,653	19,873	0,927	0,466
C3	33,747	16,245	0,973	0,460
C4	41,986	16,179	0,983	0,422
C5	41,533	20,016	0,927	0,420
C6	37,212	16,023	0,871	0,418
C7	36,699	14,370	0,872	0,375
C8	40,827	17,885	0,927	0,375
C9	41,331	14,370	0,982	0,375
C10	37,283	12,707	0,873	0,331
C11	41,533	15,725	0,927	0,330
C12	41,914	12,550	0,981	0,327
C13	30,128	9,796	0,868	0,277
C14	33,653	12,107	0,927	0,284
C15	34,215	10,235	0,986	0,290

Fuerza en Dirección 21° (Eje Menor P2) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	15,360	8,308	0,890	0,487
C2	18,621	15,221	0,927	0,462
C3	16,653	7,476	0,965	0,438
C4	31,564	9,823	0,999	0,424
C5	32,457	17,624	0,927	0,417
C6	27,051	9,528	0,856	0,411
C7	26,057	8,704	0,858	0,375
C8	31,156	15,848	0,927	0,375
C9	30,248	8,704	0,996	0,375
C10	27,211	7,836	0,861	0,338
C11	32,457	14,003	0,927	0,332
C12	31,404	7,541	0,994	0,325
C13	14,380	4,472	0,833	0,262
C14	18,621	9,452	0,927	0,287
C15	17,633	5,304	1,021	0,311

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación Y) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	20,959	-0,892	0,604	-0,025
C2	0,000	-0,955	0,000	-0,022
C3	-20,959	-0,892	-0,604	-0,025
C4	-26,327	18,836	-0,616	0,491
C5	0,000	23,591	0,000	0,495
C6	26,327	18,836	0,616	0,491
C7	26,028	38,360	0,619	1,000
C8	0,000	47,743	0,000	1,000
C9	-26,028	38,360	-0,619	1,000
C10	26,519	57,858	0,621	1,509
C11	0,000	71,816	0,000	1,505
C12	-26,519	57,858	-0,621	1,509
C13	19,709	71,578	0,568	2,025
C14	0,000	86,325	0,000	2,022
C15	-19,709	71,578	-0,568	2,025

Fuerza en Dirección 90° (Peor Efecto de Traslación Y) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	14,077	0,178	0,815	0,010
C2	0,000	0,515	0,000	0,016
C3	-14,077	0,178	-0,815	0,010
C4	-24,245	12,013	-0,767	0,518
C5	0,000	21,867	0,000	0,518
C6	24,245	12,013	0,767	0,518
C7	23,549	23,234	0,776	1,000
C8	0,000	42,305	0,000	1,000
C9	-23,549	23,234	-0,776	1,000
C10	24,672	34,339	0,781	1,482
C11	0,000	62,559	0,000	1,482
C12	-24,672	34,339	-0,781	1,482
C13	11,461	33,938	0,664	1,990
C14	0,000	65,350	0,000	1,984
C15	-11,461	33,938	-0,664	1,990

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación X) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	24,531	18,354	0,707	0,519
C2	36,296	21,820	1,000	0,511
C3	44,865	17,881	1,293	0,506
C4	55,920	9,840	1,309	0,257
C5	44,795	12,056	1,000	0,253
C6	29,497	9,671	0,691	0,252
C7	29,065	0,000	0,691	0,000
C8	44,033	0,000	1,000	0,000
C9	55,093	0,000	1,309	0,000
C10	29,497	-9,671	0,691	-0,252
C11	44,795	-12,056	1,000	-0,253
C12	55,920	-9,840	1,309	-0,257
C13	24,531	-18,354	0,707	-0,519
C14	36,296	-21,820	1,000	-0,511
C15	44,865	-17,881	1,293	-0,506

Fuerza en Dirección 0° (Peor Efecto de Traslación X) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	10,879	8,889	0,630	0,521
C2	20,084	16,209	1,000	0,492
C3	23,648	7,991	1,370	0,468
C4	43,838	5,740	1,387	0,248
C5	35,006	10,173	1,000	0,241
C6	19,380	5,422	0,613	0,234
C7	18,589	0,000	0,612	0,000
C8	33,603	0,000	1,000	0,000
C9	42,138	0,000	1,388	0,000
C10	19,380	-5,422	0,613	-0,234
C11	35,006	-10,173	1,000	-0,241
C12	43,838	-5,740	1,387	-0,248
C13	10,879	-8,889	0,630	-0,521
C14	20,084	-16,209	1,000	-0,492
C15	23,648	-7,991	1,370	-0,468

1.3.2 Radial L35.

Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	25,286	-80,003	0,146	0,453
C2	-106,669	-95,033	0,588	0,445
C3	-229,232	-78,612	1,321	0,445
C4	-287,211	35,184	1,345	0,184
C5	-131,644	45,055	0,588	0,189
C6	36,183	35,681	0,169	0,186
C7	35,998	155,170	0,171	0,809
C8	-129,407	193,127	0,588	0,809
C9	-283,322	155,170	1,347	0,809
C10	36,957	274,551	0,173	1,432
C11	-131,648	340,880	0,588	1,429
C12	-288,004	275,052	1,349	1,435
C13	20,229	365,934	0,117	2,071
C14	-106,673	440,358	0,588	2,063
C15	-224,199	364,539	1,292	2,063

Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	32,886	-35,865	0,381	0,421
C2	-59,020	-65,638	0,588	0,399
C3	-134,350	-33,227	1,557	0,390
C4	-242,060	24,808	1,532	0,214
C5	-102,874	45,947	0,588	0,218
C6	56,279	25,742	0,356	0,222
C7	55,226	93,984	0,364	0,809
C8	-98,750	171,129	0,588	0,809
C9	-233,679	93,985	1,539	0,809
C10	58,004	161,757	0,367	1,396
C11	-102,880	295,567	0,588	1,400
C12	-243,817	162,700	1,542	1,404
C13	22,305	173,865	0,258	2,039
C14	-59,028	332,060	0,588	2,017
C15	-123,812	171,221	1,434	2,008

Fuerza en Dirección 145° (CIR cerca del CR) - planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	-22,803	-109,027	0,131	0,617
C2	-148,657	-129,799	0,819	0,608
C3	-261,422	-107,089	1,507	0,606
C4	-327,355	-3,133	1,533	0,016
C5	-183,463	-2,547	0,819	0,011
C6	-22,485	-2,441	0,105	0,013
C7	-21,914	110,012	0,104	0,574
C8	-180,346	136,923	0,819	0,574
C9	-322,765	110,013	1,534	0,574
C10	-21,937	222,389	0,103	1,160
C11	-183,468	276,169	0,819	1,158
C12	-327,926	223,087	1,536	1,164
C13	-26,389	311,746	0,152	1,764
C14	-148,662	374,625	0,819	1,755
C15	-257,865	309,803	1,486	1,753

Fuerza en Dirección 145° (CIR cerca del CR) - planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	6,846	-50,476	0,079	0,592
C2	-82,253	-92,905	0,819	0,564
C3	-148,251	-46,799	1,718	0,549
C4	-270,199	1,301	1,710	0,011
C5	-143,369	3,473	0,819	0,016
C6	11,287	2,603	0,071	0,022
C7	11,747	66,633	0,077	0,574
C8	-137,622	121,328	0,819	0,574
C9	-260,447	66,634	1,716	0,574
C10	12,509	130,329	0,079	1,125
C11	-143,377	238,656	0,819	1,131
C12	-271,458	131,642	1,717	1,136
C13	-0,657	148,315	0,008	1,739
C14	-82,262	281,789	0,819	1,711
C15	-140,799	144,630	1,631	1,696

Fuerza en Dirección 119° (Eje Mayor P2) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	17,743	-85,260	0,102	0,482
C2	-114,207	-101,323	0,629	0,475
C3	-236,100	-83,771	1,361	0,474
C4	-295,786	29,285	1,385	0,153
C5	-140,947	37,736	0,629	0,158
C6	27,019	29,816	0,127	0,156
C7	26,955	149,057	0,128	0,777
C8	-138,552	185,519	0,629	0,777
C9	-291,756	149,058	1,387	0,777
C10	27,763	268,194	0,130	1,399
C11	-140,951	332,996	0,629	1,396
C12	-296,549	268,731	1,389	1,402
C13	12,885	359,926	0,074	2,037
C14	-114,211	433,045	0,629	2,029
C15	-231,267	358,433	1,333	2,028

Fuerza en Dirección 119° (Eje Mayor P2) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	28,943	-38,478	0,335	0,451
C2	-63,191	-70,506	0,629	0,428
C3	-137,577	-35,654	1,594	0,418
C4	-248,371	21,212	1,572	0,183
C5	-110,143	39,458	0,629	0,187
C6	49,462	22,212	0,313	0,192
C7	48,645	90,281	0,320	0,777
C8	-105,729	164,387	0,629	0,777
C9	-239,708	90,283	1,579	0,777
C10	51,119	157,900	0,323	1,363
C11	-110,150	288,602	0,629	1,367
C12	-250,061	158,909	1,582	1,371
C13	18,778	171,042	0,218	2,005
C14	-63,199	326,432	0,629	1,982
C15	-127,457	168,211	1,476	1,972

Fuerza en Dirección 29° (Eje Menor P2) - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	139,327	111,522	0,803	0,631
C2	158,724	133,356	0,875	0,625
C3	164,146	109,452	0,946	0,619
C4	205,093	106,685	0,960	0,556
C5	195,888	132,149	0,875	0,554
C6	168,439	105,946	0,789	0,553
C7	166,189	92,987	0,790	0,485
C8	192,559	115,731	0,875	0,485
C9	201,834	92,986	0,959	0,485
C10	168,904	79,963	0,791	0,417
C11	195,891	99,121	0,875	0,416
C12	204,643	79,219	0,958	0,413
C13	136,297	59,825	0,786	0,339
C14	158,728	73,589	0,875	0,345
C15	167,196	61,898	0,964	0,350

Fuerza en Dirección 29° (Eje Menor P2) - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	69,918	54,871	0,810	0,643
C2	87,825	102,029	0,875	0,620
C3	81,066	50,946	0,939	0,597
C4	155,490	64,519	0,984	0,557
C5	153,080	116,259	0,875	0,551
C6	120,959	63,129	0,765	0,545
C7	116,651	56,321	0,768	0,485
C8	146,944	102,547	0,875	0,485
C9	148,897	56,319	0,981	0,485
C10	121,994	49,232	0,772	0,425
C11	153,085	88,389	0,875	0,419
C12	154,481	47,834	0,977	0,413
C13	63,579	27,829	0,737	0,326
C14	87,831	57,638	0,875	0,350
C15	87,441	31,759	1,013	0,372

Fuerza en Dirección 90° - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	104,791	-4,455	0,604	0,025
C2	0,001	-4,768	0,000	0,022
C3	-104,789	-4,455	0,604	0,025
C4	-131,631	94,183	0,616	0,491
C5	0,001	117,960	0,000	0,495
C6	131,634	94,183	0,616	0,491
C7	130,138	191,800	0,619	1,000
C8	0,001	238,717	0,000	1,000
C9	-130,134	191,800	0,619	1,000
C10	132,591	289,285	0,621	1,509
C11	0,000	359,079	0,000	1,505
C12	-132,596	289,287	0,621	1,509
C13	98,541	357,884	0,568	2,025
C14	-0,001	431,618	0,000	2,022
C15	-98,548	357,883	0,568	2,025

Fuerza en Dirección 90° - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	70,384	0,891	0,815	0,010
C2	0,002	2,582	0,000	0,016
C3	-70,381	0,891	0,815	0,010
C4	-121,219	60,068	0,767	0,518
C5	0,003	109,336	0,000	0,518
C6	121,224	60,068	0,767	0,518
C7	117,745	116,170	0,776	1,000
C8	0,003	211,525	0,000	1,000
C9	-117,738	116,171	0,776	1,000
C10	123,357	171,693	0,781	1,482
C11	0,000	312,794	0,000	1,482
C12	-123,365	171,696	0,780	1,482
C13	57,306	169,688	0,664	1,990
C14	-0,001	326,741	0,000	1,984
C15	-57,319	169,686	0,664	1,990

Fuerza en Dirección 0° - Planta 1				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	101,213	129,979	0,583	0,736
C2	181,478	155,116	1,000	0,727
C3	245,763	127,612	1,417	0,722
C4	307,458	69,772	1,440	0,364
C5	223,968	85,706	1,000	0,359
C6	119,620	68,928	0,560	0,359
C7	117,876	0,000	0,560	0,000
C8	220,163	-0,001	1,000	0,000
C9	302,902	-0,001	1,440	0,000
C10	119,621	-68,927	0,560	0,359
C11	223,973	-85,710	1,000	0,359
C12	307,479	-69,778	1,440	0,364
C13	101,214	-129,978	0,583	0,736
C14	181,483	-155,111	1,000	0,727
C15	245,791	-127,607	1,417	0,722

Fuerza en Dirección 0° - Planta 2				
Columna	V2	V3	FAT - V2	FAT - V3
	tonf	tonf		
C1	40,927	62,243	0,474	0,730
C2	100,414	115,224	1,000	0,700
C3	131,699	57,755	1,526	0,677
C4	244,973	40,472	1,550	0,349
C5	175,023	72,319	1,000	0,343
C6	71,103	38,882	0,450	0,336
C7	68,106	0,000	0,449	0,000
C8	168,008	-0,002	1,000	0,000
C9	235,505	-0,002	1,551	0,000
C10	71,105	-38,882	0,450	0,336
C11	175,031	-72,325	1,000	0,343
C12	245,009	-40,482	1,550	0,349
C13	40,928	-62,242	0,474	0,730
C14	100,423	-115,215	1,000	0,700
C15	131,748	-57,746	1,526	0,677