



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA INGENIERIA CIVIL

TEMA:

**"INVESTIGACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOMÉTRICAS Y
FÍSICAS QUE FAVORECEN LA FORMACIÓN DE
DIAFRAGMAS FLEXIBLES MEDIANTE MODELAMIENTO
MATEMÁTICO LINEAL Y NO LINEAL USANDO SAP2000"**

AUTOR:

PAÚL ALEXANDER FLORES GAVILÁNEZ

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero Civil**

TUTOR:

Ing. Argudo Rodríguez, Jaime Fernando Ph. D.

Guayaquil, Ecuador

13 de septiembre 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Flores Gavilánez Paul Alexander, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Ing. Argudo Rodríguez, Jaime Fernando Ph. D.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MsC.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Flores Gavilánez, Paúl Alexander**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **“Investigación de las Condiciones Geométricas y Físicas que Favorecen la Formación de Diafragmas Flexibles Mediante Modelamiento Matemático Lineal y No Lineal Usando SAP2000”** previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2018

AUTOR

f. _____
Flores Gavilánez, Paúl Alexander



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Flores Gavilánez, Paúl Alexander

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“Investigación de las Condiciones Geométricas y Físicas que Favorecen la Formación de Diafragmas Flexibles Mediante Modelamiento Matemático Lineal y No Lineal Usando SAP2000”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2018

AUTOR:

f. _____
Flores Gavilánez, Paúl Alexander

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULO Paul Flores Gavilanez.pdf (D41078689)
Submitted: 8/31/2018 8:24:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 2 %

Sources included in the report:

DISERTACION 10.docx (D22196658)
Tesis Esteban Flores FINAL.pdf (D40187021)
20180705 Daniel Guaman.pdf (D40510460)
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/993/LEONFLORES.pdf?sequence=1>
<http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n89/n89a6.pdf>

Instances where selected sources appear:

8

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de estar aquí, y por darme fuerza y la sabiduría para culminar mi carrera. A mis padres, hermano por estar ahí para apoyarme en todo momento, y por ayudarme a sobresalir a cada obstáculo, a mis tíos y primos los cuales fueron pilares fundamentales en mi formación. A mi Tutor de Tesis el Ing. Jaime Fernando Argudo Rodríguez Ph. D, por guiarme sabiamente a lo largo de todo el trabajo. Al Ing. Jaime Hernández Barredo, MsC. por ayudarme extraoficialmente, y a todas aquellas personas, amigos, compañeros que han aportado de cierta forma y me han ayudado a alcanzar esta meta.

Paúl Alexander Flores Gavilánez

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, hermano, tíos y primos por siempre creer en mí, provocando continuamente el crecimiento personal y profesional.

Paúl Alexander Flores Gavilánez



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

f. _____

Ing. Argudo Rodríguez, Jaime Fernando Ph. D.

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MsC

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Guillermo Ponce Vásquez, MsC

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Jaime Hernández Barredo, MsC.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

1. CAPÍTULO (INTRODUCCIÓN)	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación	3
1.3 Generalidades	3
1.4 Objetivo General	5
1.4.1 Objetivos Específicos	5
1.5 Metodología	5
1.6 Alcance de Estudio	6
2 CAPÍTULO (ESTADO DEL ARTE)	7
2.1 Definición de Diafragma	7
2.2 Función de los Diafragmas	7
2.3 Distribución de carga vertical sobre Diafragmas	7
2.4 Esfuerzos y deformaciones en el Diafragma	8
2.4.1 Flexión en el plano	8
2.4.2 Flexión Fuera del plano	9
2.4.3 Deformación Axial de Diafragma y su comportamiento como membrana.	9
2.5 Elementos estructurales que componen un diafragma	10
2.5.1 Cuerdas	10
2.5.2 Colectores	11
2.6 Tipos de diafragmas (Clasificación clásica)	11
2.7 Diafragmas Semi-rígidos y Semi-flexibles (Clasificación del autor de este trabajo)	12

2.7.1	Centro de masa (CM) del Diafragma Rígido	12
2.7.2	Centro de rigidez (CR) en diafragmas rígidos	14
2.7.3	Excentricidad de masas en un diafragma rígido	14
2.7.4	Rigidez fuera del plano del diafragma	15
2.8	Definición clásica de un diafragma rígido	18
2.9	Diafragma Flexible (Flexibilidad infinita)	19
2.9.1	Distribución horizontal de cargas sísmicas en los Diafragmas Flexibles	21
2.10	Diafragma de flexibilidad finita o Semi-flexible.	22
2.10.1	Modelamiento de cargas aplicadas en un diafragma semi-flexible	23
2.11	Modelado de Diafragma Rígido usando SAP2000	24
2.12	Modelamiento de un diafragma semi-rígido en su plano (modelado tipo viga).	25
2.13	Modelo No-Lineal de diafragma Semi-flexible con elementos colectores de rigidez axial infinita (Rods- constraints).	28
2.14	Comportamiento sísmico de los distintos tipos de diafragmas.	29
2.15	Diafragma Semi-rígidos tipo Steel Deck	30
2.15.1	Transferencia a corte entre losa y pórticos.	30
2.15.2	Headed Stud (pernos conectores distribuidores de cortante)	31
2.15.3	Pernos conectores distribuidores de cortante sistema ecuatoriano (NOVALOSA):	32
2.16	Modelamiento no lineal de diafragmas	32
2.16.1	Normas en las cuales se proporcionan modelos a seguir para el análisis no lineal de diafragmas	32
2.16.2	Procedimiento estático no lineal (Pushover)	33
2.16.3	Método de Modelación(FEMA 356, 2000)	33
2.16.4	Curva de capacidad Corte-Deformación (ASCE 41)	36

3	CAPÍTULO (ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS)	37
3.1	Metodología de análisis y diseño de las estructuras	39
3.1.1	Caracterización estructural del edificio “A”	39
3.1.2	Caracterización estructural del edificio “B”	42
3.2	Documentos de Referencia y Normas de Diseño de la Super-estructura	45
3.3	Cargas Gravitacionales	45
3.3.1	Carga muerta “D”	45
3.3.2	Carga viva “L”	47
3.3.3	Distribución de Cargas Gravitacionales Sobre-Impuestas	47
3.3.4	Cargas Gravitacionales totales de los edificios “A” y “B”	48
3.4	Cargas Sísmicas	49
3.4.1	El Cortante Basal Estático (NEC-15)	49
3.4.2	Cortante basal para el Edificio “A”	50
3.4.3	Cortante basal para el Edificio “B”	51
3.4.4	Distribución de las Cargas sísmica aplicadas en el centro de masas de los edificios A y B modelados con diafragmas rígidos	52
3.4.5	Distribución de las Cargas sísmica aplicada sobre cada pórtico como función de las masas tributarias sobre cada pórtico.	54
3.5	Diseño de la estructura aporticada de los Edificios A y B	58
3.5.1	Verificación de derivas admisibles	59
3.5.2	Verificación de fuerzas internas en elementos críticos	61
3.6	Estructuras con diafragma rígido con cargas sísmicas sobre pórticos en función de sus masas tributarias.	62
3.7	Análisis Pushover SAP2000	65
3.7.1	Carga Gravitacional no lineal (FEMA 356, 2000)	65
3.7.2	Análisis estático no lineal Pushover (PSN)	66
3.8	Calculo del puntal Axial Equivalente del diafragma de Losa	69
3.8.1	Geometría y propiedades de materiales	69

3.8.2	Cálculo de las dimensiones del puntal axial usando FEMA 350	69
3.8.3	Curva de Capacidad del puntal axial	71
3.9	Modelamiento de elementos colectores de rigidez axial infinita en diafragmas Semi-Flexibles.	76
4	CAPÍTULO (RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS PUSHOVER)	77
4.1	Codificación de los modelos	78
4.2	Desempeño sísmico del Diafragma del Modelo AM	81
4.3	Desempeño sísmico del Diafragma del Modelo BM	83
4.4	Reacciones de corte a la base de cada pórtico	84
4.5	Cortante de piso por pórtico	86
5	CAPÍTULO (COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DIAFRAGMAS RÍGIDOS Y SEMI-FLEXIBLES)	87
5.1	Comparación de modelos AM y AR	87
5.2	Comparación de modelos BM y BR	90
6	CAPÍTULO (CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES)	93
6.1	Conclusiones	93
6.2	Recomendaciones	94
7	BIBLIOGRAFÍA	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1, Flujo de cargas verticales sobre diafragmas, (McCormac, 2011).....	8
Ilustración 2, Flexión en el plano. Vista en planta	8
Ilustración 3, Flexión fuera de Plano.....	9
Ilustración 4, Deformación Axial a Compresión.	9
Ilustración 5, Deformación Axial a Tensión.....	10
Ilustración 6, Losa vista en planta con flexión en su plano, y cuerdas del diafragma.....	10
Ilustración 7, Diafragma con flexión en su plano, visualizando los elementos colectores.	11
Ilustración 8, Clasificación de los tipos de diafragmas.....	12
Ilustración 9, Centro de masa de una estructura regular	13
Ilustración 10, Centro de masa de estructura irregular.	13
Ilustración 11, Corte sin torsión.....	14
Ilustración 12, Corte con excentricidad y torsión.....	15
Ilustración 13, Formación de rotulas plásticas a causa de la rigidez infinita del diafragma fuera de un plano.	16
Ilustración 14, Diafragma flexible fuera de su plano y pórtico dúctil.....	17
Ilustración 15, Pórtico dúctil con diafragma débil a flexión fuera de plano... ..	17
Ilustración 16, Diafragma Rígido, con excentricidad entre centro de masa y rigidez	18
Ilustración 17, Diafragma flexible	20
Ilustración 18, Distribución de carga lateral en un diafragma infinitamente flexible.....	21

Ilustración 19, Comportamiento de diafragma flexible en su plano, diafragma Semi-flexible.	22
Ilustración 20, Diafragma Semi- Rígido con cargas laterales aplicadas sobre cada pórtico como función de masas participantes.	23
Ilustración 21, Modelado de diafragma rígido, mediante SAP2000	24
Ilustración 22, Modelado de diafragma rígido mediante SAP2000	24
Ilustración 23, Análisis de diafragmas con flexión en su plano, fuente: (Rafael Sabelli y otros)	25
Ilustración 24, Colectores y cuerdas del diafragma de Sabelli y otros.	26
Ilustración 25, Comportamiento diafragma flexible, semi- rígido, rígido en su plano analogía de viga propuesta por Naim 2001.....	27
Ilustración 26, Diafragma semi rígido modelado con elementos colectores. 28	
Ilustración 27, Tipos de diafragma y sus principales propiedades	30
Ilustración 28, Dispositivo de transferencia de corte, Fuente Nist.....	31
Ilustración 29, STEEL DECK con diseño de Headed stud (Sistema norteamericano).....	31
Ilustración 30, Perno conector diafragma con viga secundaria, principal. ...	32
Ilustración 31, Comportamiento no lineal de un elemento, (FEMA 356,2000)	33
Ilustración 32, Modelo puntal axial (FEMA-356,2000)	35
Ilustración 33, Curva de capacidad controlada por ductilidad, ASCE41-17 .	36
Ilustración 34, Vista en 3d, sección STEEL DECK. (Novalosa)	37
Ilustración 35, Propiedades del Acero A36, y hormigón de 280kg/(cm ²), SAP2000.....	38
Ilustración 36, Alzado de la estructura “A”	40

Ilustración 37, Configuración en planta de la estructura “A”	40
Ilustración 38, Dimensiones de vigas del edificio A en planta.....	41
Ilustración 39, Modelo estructura A.....	42
Ilustración 40, Dimensiones de las columnas del edificio B.....	43
Ilustración 41, Vigas en la dirección “Y” de sección W18*76	43
Ilustración 42, Vigas en la dirección “X” de sección W18*60	43
Ilustración 43, Dimensiones de vigas, vista en planta de la estructura “B” ..	44
Ilustración 44, Modelo estructura B.....	44
Ilustración 45, Áreas tributarias de losa sobre vigas.....	48
Ilustración 46, Espectro elástico Edificios “A” y “B”	51
Ilustración 47, Distribución de carga sísmica y corte sísmico sobre pisos con diafragmas rígidos	53
Ilustración 48, Distribución de carga sísmica y corte sísmico sobre pisos con diafragmas rígidos	54
Ilustración 49, Distribución de carga lateral función de masas tributarias....	55
Ilustración 50, Distribución de carga lateral función de masas tributarias edificio B	57
Ilustración 51, Vinculo de desplazamiento en todos los nodos del diafragma para comportamiento de diafragma rígido.	59
Ilustración 52, Verificación derivas NEC-15.....	59
Ilustración 53, Distribución de carga sísmica función de masas tributarias en diafragma rígido, edificio A	63
Ilustración 54, Distribución de carga sísmica función de masas tributarias en diafragma rígido, edificio B	64
Ilustración 55, Estados de carga del análisis Pushover, SAP2000	65

Ilustración 56, Combinación de cargas Permanentes, SAP2000.....	66
Ilustración 57, Análisis estático no lineal Pushover, SAP2000	67
Ilustración 58, Nodos de control de desplazamiento edificio “B” y edificio “A” SAP2000.....	67
Ilustración 59, Datos de Análisis edificio “A” y “B”, SAP2000	68
Ilustración 60, Propiedades de Pushover, SAP2000	68
Ilustración 61, Propiedades de la curva de capacidad, ASCE41-17	72
Ilustración 62, Deformación axial del puntal en un paño de losa.	72
Ilustración 63,Área de la sección del diafragma resistente a corte	74
Ilustración 64,Fuerza de resistencia a corte Diafragma, ingresado en SAP2000.....	75
Ilustración 65, Curva de capacidad del Puntal Axial.	75
Ilustración 66,Vínculos de desplazamiento en nudos de los porticos,SAP2000	76
Ilustración 67, Modelos del análisis Pushover para el edificio A.....	79
Ilustración 68, Modelos del análisis Pushover para el edificio B.....	80
Ilustración 69, Articulaciones plásticas en el piso 2, paso 4 del análisis	81
Ilustración 70, Articulaciones plásticas en el piso 2, paso 5 del análisis	81
Ilustración 71, Articulación plástica en el piso 3, paso 5 del análisis	82
Ilustración 72, Articulación plástica en el piso 1, paso 5 del análisis	83
Ilustración 73, Ubicación geográfica de pórticos y nudos en la base.....	84
Ilustración 74, Ubicación geográfica de pórticos y nudos en la base.....	84
Ilustración 75,Diafragma rígido con distribución de reacciones de corte sin torsión	87

Ilustración 76, Diafragma flexible, con distribución de reacciones de corte sin torsión sobre la estructura A con diafragma flexible	87
Ilustración 77, Diafragma rígido con distribución de reacciones de corte con torsión	88
Ilustración 78, Diafragma Semi-flexible con distribución de reacciones de corte con torsión.	88
Ilustración 79, Diafragma rígido con distribución de reacciones de corte sin torsión	90
Ilustración 80, Diafragma flexible, con distribución de reacciones de corte sin torsión sobre la estructura A con diafragma flexible	90
Ilustración 81, Diafragma rígido con distribución de reacciones de corte con torsión	91
Ilustración 82, Diafragma Semi-flexible con distribución de reacciones de corte con torsión.	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1, Curva de capacidad corte- deriva lateral Diafragma ASCE 41-17.	36
Tabla 2, Dimensiones de las columnas del edificio A	41
Tabla 3, Dimensiones de las vigas en la dirección Y del edificio A.....	41
Tabla 4, Dimensiones de las vigas en la dirección "X"	41
Tabla 5, Carga gravitacional total del edificio "A"	48
Tabla 6, Carga gravitacional total del edificio "B"	49
Tabla 7, Resultado de las fuerzas horizontales y cortante de piso edificio A	53
Tabla 8, Resultado de las fuerzas horizontales y cortante de piso edificio B	54
Tabla 9, Distribución de carga lateral en función de masas tributarias en cada pórtico en la dirección Y	56
Tabla 10, Patrón de carga lateral del edificio "A", para el análisis Pushover usando SAP2000	56
Tabla 11, Distribución de carga lateral en función de masas tributarias en cada pórtico en la dirección Y	57
Tabla 12, Patrón de carga lateral del edificio "B", para análisis Pushover usando SAP2000	57
Tabla 13, Resumen de derivas de pórticos para el edificio A modelado con diafragma rígido	60
Tabla 14, Resumen de derivas de pórticos para el edificio B modelado con diafragma rígido	60
Tabla 15, Fuerzas internas actuantes, y resistentes en columnas del edificio A.	61
Tabla 16, Fuerzas internas actuantes, y resistentes en vigas del edificio A	61

Tabla 17, Fuerzas internas actuantes, y resistentes en columnas del edificio B.	62
Tabla 18, Distribución cortante diafragma rígido edificio A.....	63
Tabla 19, Distribución cortante diafragma rígido edificio B.....	64
Tabla 20, Propiedades del Diafragma entre vigas perimetrales.....	69
Tabla 21, Geometría de un paño de losa.....	69
Tabla 22, Inercias de perfiles W de las vigas de piso.	69
Tabla 23, Parámetros geométricos del puntal axial	70
Tabla 24, Curva de capacidad de un muro corto, ASCE41-17	71
Tabla 25, Tabla de deformación axial del diafragma representado por el puntal.	73
Tabla 26, Desempeño sísmico del Diafragma del Modelo AM	82
Tabla 27, Desempeño sísmico del diafragma del modelo BM.....	83
Tabla 28, Reacciones de corte a la base de las estructuras AR y AM.....	85
Tabla 29, Reacciones de corte a la base de las estructuras BR y BM.....	85
Tabla 30, Distribución de cortante por piso y por pórtico de AM y AR.....	86
Tabla 31, Distribución de cortante por piso y por pórtico de BM y BR.....	86
Tabla 32, Comparación de Reacciones a la base de los diafragmas AM y AR	89
Tabla 33, Cuadro comparativo de las reacciones de corte en la base de los pórticos	89
Tabla 34, Comparación de Reacciones a la base de los diafragmas BM y BR	92
Tabla 35, Cuadro comparativo de las reacciones de corte en la base de los pórticos	92

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo el análisis de las características geométricas y físicas que contribuyen a la formación de diafragmas flexibles, usando modelos con distintas condiciones. Con el programa SAP2000.

Se estudia el diafragma con un modelo estructural no lineal de transmisión de carga horizontal, con el cual se clasifica al diafragma no lineal según su aproximación a un diafragma infinitamente flexible en el cual la carga se distribuye en función de masas tributarias, o según su aproximación a un diafragma infinitamente rígido donde la distribución de carga es función de la rigidez de los pórticos.

Los diafragmas una vez estudiados, tienen una condición intermedia en la cual la distribución de carga depende de la rigidez a corte del diafragma y los pórticos. Conforme el diafragma se agrieta y deforma en cortante dentro de su plano, la distribución de carga horizontal dentro del diafragma inicialmente es función de rigidez y luego se aproxima ligeramente a una distribución que es función de masas tributarias sobre los pórticos.

En cuanto al modelamiento, se utiliza un puntal axial para sustituir el diafragma con sus propiedades no lineales, y se analiza la estructura mediante el método de carga estática lateral (Pushover no-lineal estático), usando el programa SAP2000.

En los análisis realizados para los modelos, se logra evidenciar las diferentes distribuciones del cortante en los elementos verticales resistentes a carga lateral, en función de la degradación de la rigidez a corte del diafragma modelado.

Palabras Claves: Diafragma, Rigidez, Flexibilidad, Desplazamiento, Deformación, Placa Colaborante, Esfuerzo, Cortante, Momento, Excentricidad, Pórtico, Cuerdas, Colectores.

SUMMARY (ABSTRACT)

This work aims to analyze the geometric and physical characteristics that contribute to the formation of flexible diaphragms, using models with different conditions. With SAP2000 program.

The diaphragms are studied with a nonlinear structural model for horizontal load, transfer thru which the nonlinear diaphragms are classified by their approximation to an infinitely flexible diaphragm in which the load is distributed according to tributary masses, or by their approximation to a rigid diaphragm where the shear distribution is a function of frame stiffnesses.

Diaphragms were found to fall in an intermediate condition, in which the shear distribution depends on the stiffness of the diaphragm members and frames. As the diaphragm deforms and cracks in shear in its own plane, the horizontal load distribution within the diaphragm is initially a stiffness function and then slightly approaches to a distribution that is a function of the tributary masses to frames.

With respect to modeling, an axial strut was used to model the diaphragm nonlinear properties, and the structure is solved by nonlinear static Pushover analysis using SAP2000.

Seismic results from analyses show variations in the shear distribution to elements, depending on stiffness degradation of diaphragms.

Keywords: Diaphragm stiffness, flexibility, displacement, deformation, steel deck, stress, shear, moment, Eccentricity, frame, Chords, Collectors.

1. CAPÍTULO (Introducción)

1.1 Antecedentes

Castañeda y Bravo(2016), estudiaron los efectos del terremoto de Pedernales del 16 abril del 2016 sobre diez estructuras aporticadas de hormigón armado con sistemas de pisos compuestos de losa de hormigón y placa colaborante de acero, sistema conocido como "Steel-Deck", que se conectan a las vigas de hormigón mediante nudos híbridos formados por un emparrillado de vigas secundarias de acero y vigas de hormigón; o, que se anclan directamente a las vigas de hormigón mediante pernos conectores, sin formar el emparrillado de vigas.

El análisis preliminar de dicho estudio, concluye que hubo un buen comportamiento estructural de los Steel-Deck conectados a los emparrillados híbridos, incertidumbres sobre el buen comportamiento de los Steel-Deck vinculados a pórticos con vigas de hormigón armado de grandes luces, con ausencia de emparrillados híbridos. Castañeda y Bravo (2016), también estudiaron la influencia de la rectangularidad en planta, el modelo de diseño de los nodos híbridos, y otras variables geométricas y físicas sobre el comportamiento sísmico de este tipo de estructuras; y, la capacidad de los diseños estructurales.

Una de las condiciones óptimas para el diseño de estructuras sismo resistentes es que exista una configuración cuadrada, circular u ovalada en planta simétrica y una reducción proporcional de rigidez, definiendo a la estructura sin irregularidades tanto en planta como elevación. Lo ideal es que la estructura presente una simetría tanto en masas, como en rigideces. Siendo lo anterior una condición, para que la estructura se comporte estructuralmente sin torsión, ante las fuerzas inducidas por el sismo; ya que, si no tiene simetría, la edificación corre el riesgo de experimentar daños por la concentración de esfuerzos por torsión en las esquinas, irregularidades, que lleven al colapso parcial o total de los elementos estructurales, en el peor de los casos. (Dario Páez, et. al, 2017).

Una observación frecuente de las últimas décadas, en la construcción de las edificaciones, ha sido las fallas de estructuras originadas en pisos débiles, donde los elementos estructurales de un piso concentran daño y el desempeño sísmico de la estructura no es satisfactorio. Cuando la estructura tiene ductilidad limitada por presencia de pisos débiles su comportamiento sísmico es insatisfactorio, se provoca falla frágil antes de que la estructura desarrolle toda la ductilidad para la cual es diseñada. (Kaminetzky, 1991).

1.2 Justificación

En este trabajo no se estudia el comportamiento no lineal de pórticos y la formación de fallas frágiles en columnas originadas en piso débil, torsión y otros efectos que fragilizan las estructuras. Sin embargo, se estudia el comportamiento no lineal del diafragma y cómo la distribución del corte sísmico que puede estar gobernado por la rigidez de los pórticos (diafragmas rígidos) o por las masas tributarias sobre los pórticos (diafragma flexible) puede incrementar las fuerzas de corte sísmico y consecuentemente la demanda de ductilidad sobre los pórticos; agravando los efectos antes citados.

En el diseño de diafragmas es importante identificar a las variables independientes que afectan su desempeño sísmico tales como sus conexiones, las que son responsables del flujo de corte sísmico entre elementos verticales; los cambios de rigidez en el diafragma debido al cambio en sus dimensiones; su espesor, las distancias o luces entre pórticos; y los efectos de torsión por concentración de esfuerzos en las esquinas de la estructura.

1.3 Generalidades

Se estudian 2 estructuras una de dos pisos y otra de diez pisos. La particularidad de los modelos es la restricción que se le da a las deformaciones axiales a lo largo del pórtico, permitiendo al diafragma la capacidad de flectar entre cada pórtico, agrietarse en corte debido a los desplazamientos entre los pórticos en la dirección a la aplicación del Pushover (Y). Para modelar el cortante de piso, la distribución de carga se

tomó en función del cortante basal multiplicado por el factor de sobre-resistencia de la estructura. El cortante basal magnificado, se repartió en función de la masa tributaria sobre cada pórtico en la dirección del análisis Pushover.

Se realizó un segundo modelo para cada estructura, con las mismas configuraciones en planta, alzado y número de pisos, el cual es analizado con diafragmas rígidos y cargas aplicadas en el centro de masa de los pisos.

El trabajo consiste en: 1) Comparar la formación de rotulas plásticas que se dan en el diafragma en función del cortante basal del análisis Pushover, con la carga de corte basal correspondiente, 2) Comparar las fuerzas internas y reacciones entre los modelos diseñados con diafragmas rígido y semi-rígido para analizar si la distribución de carga sobre los elementos resistentes a carga lateral está gobernada por las rigideces de los pórticos (diafragma rígido), o por las masas tributarias sobre los pórticos (diafragma flexible), visualizando variaciones en la distribución de las fuerzas internas.

En el Capítulo 2, se presenta la definición de los tipos de diafragma y sus componentes; propiedades mecánicas-físicas dependientes del comportamiento del diafragma; la clasificación de los diafragmas y los esfuerzos-deformaciones que se dan en diafragmas; y los efectos asociados al diseño de losas planas. También se investigan los tipos de modelos para el análisis de diafragmas sus ventajas y desventajas; y, se hace énfasis en el método de análisis propuesto en este trabajo.

En el capítulo 3, se presenta la metodología de análisis de las dos estructuras modeladas, el modelamiento del diafragma mediante un sistema de puntal axial con sus propiedades no lineales, y el procedimiento del análisis Pushover con SAP2000.

En el capítulo 4, se discuten los resultados del análisis Pushover, se identifica paso a paso la formación de articulaciones plásticas en el diafragma a causa de la pérdida de rigidez a corte del mismo, en correspondencia con el cortante basal. También se presentan las reacciones

de los pórticos modelados con diafragmas tipo Steel Deck, y las fuerzas de corte internas en las columnas.

En el capítulo 5, Se presenta el análisis de los resultados obtenidos de este trabajo.

En el capítulo 6, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1.4 Objetivo General

Evaluar características geométricas y físicas que favorecen la formación de diafragmas flexibles, mediante modelamiento matemático lineal y no lineal usando SAP2000.

1.4.1 Objetivos Específicos

- a) Identificar el modo de distribución de carga horizontal del modelo de diafragma compuesto de losa de hormigón y placa colaborante de acero (Sistema conocido como “Steel Deck”).
- b) Analizar la resistencia a corte del diafragma, mediante elementos puntal axial de propiedades no lineales, usando el programa SAP2000 para su modelamiento.
- c) Realizar un estudio bibliográfico del comportamiento sísmico de los diafragmas.

1.5 Metodología

Realizar diferentes investigaciones en bibliotecas virtuales, especificando la clasificación de diafragmas según su comportamiento, estudiando propiedades físico-mecánicas propias del tipo de diafragma, analizando efectos de losas planas. Explicar la metodología empleada en este trabajo de investigación. Una vez obtenido los resultados de los análisis de dos estructuras, éstos se interpretan y se llegan a las conclusiones y recomendaciones.

1.6 Alcance de Estudio

Investigación documental de aspectos teóricos y experimentales sobre el desempeño sísmico de sistemas diseñados como diafragmas flexibles.

Se identificarán y recopilarán resultados de investigaciones previas. Se estudiará el comportamiento sísmico de los diafragmas semi-rígidos o semi-flexibles en estructuras mediante el uso de análisis lineal a carga estática equivalente y Pushover no-lineal, usando el programa SAP2000. Se usarán modelos matemáticos con diafragmas que usan elementos tipo puntal axial para representar distintas condiciones geométricas y físicas del diafragma, que controla su agrietamiento. Con los resultados obtenidos, se caracterizarán los efectos más relevantes del comportamiento de diafragmas semi-rígidos y semi-flexibles tipo Steel Deck, frente a una carga lateral y resaltar que tipo de comportamiento domina.

2 CAPÍTULO (Estado del arte)

2.1 Definición de Diafragma

Es un elemento horizontal compuesto de losas y vigas conectadas a elementos verticales resistentes a carga, los cuales pueden ser columnas, muros, etc.

2.2 Función de los Diafragmas

La función sismo-resistente de los diafragmas es la de transmitir carga horizontal, y proporcionar compatibilidad de deformaciones entre los elementos verticales resistentes.

La función del diafragma de piso es distribuir las cargas horizontales entre los elementos verticales y proporcionar rigidez e integridad al sistema de piso.

El diseño estructural del diafragma tiene como objetivo conocer la disposición general del sistema, su dimensionamiento para resistir las fuerzas y deformaciones esperadas en el sistema para los sismos de diseño. (McCormac, 2011).

2.3 Distribución de carga vertical sobre Diafragmas

Las cargas de gravedad muertas y vivas, aplicadas sobre el diafragma horizontal, ocasionan deformaciones verticales en toda su estructura interna y por ende en cada uno de sus componentes. El estudio de las fuerzas, y las deformaciones relacionadas a las cargas verticales, idealiza al diafragma como un medio de flujo o transporte de dichas cargas hacia los elementos del pórtico (viga, columnas) o a los muros. Y las deformaciones del diafragma fuera de su plano, siguen y son compatibles con las deformaciones verticales de las vigas.

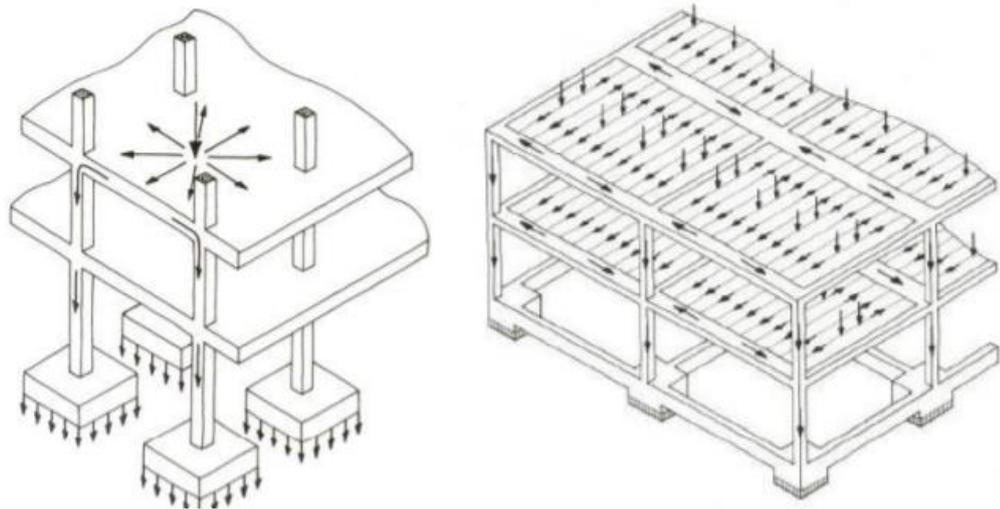


Ilustración 1, Flujo de cargas verticales sobre diafragmas, (McCormac, 2011)

2.4 Esfuerzos y deformaciones en el Diafragma

2.4.1 Flexión en el plano

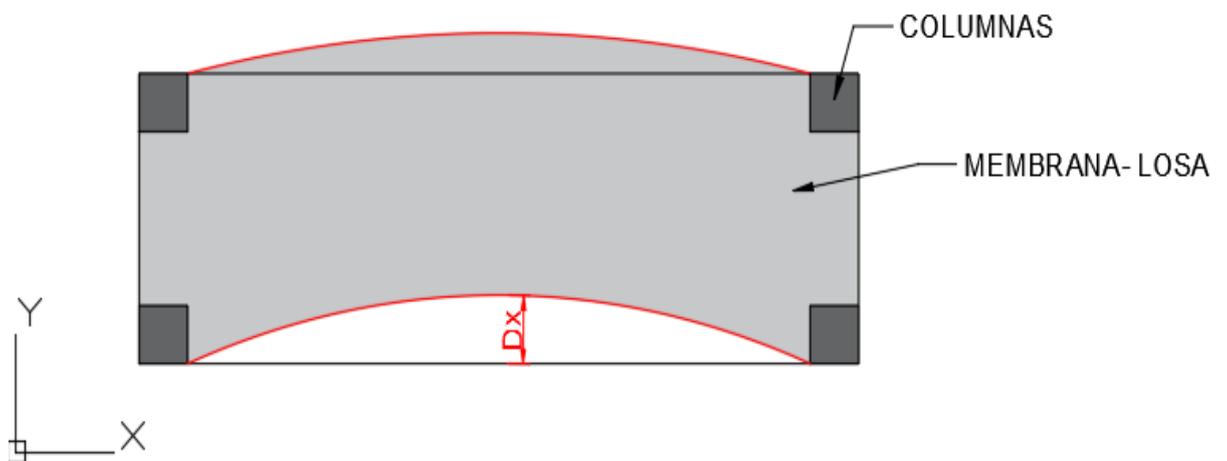


Ilustración 2, Flexión en el plano. Vista en planta

La ilustración 2 muestra la deformada de flexión en el plano (x-y); plano que contiene al diafragma.

Las deformaciones en el plano del diafragma, tienen su origen en la acción del corte sísmico horizontal.

2.4.2 Flexión Fuera del plano

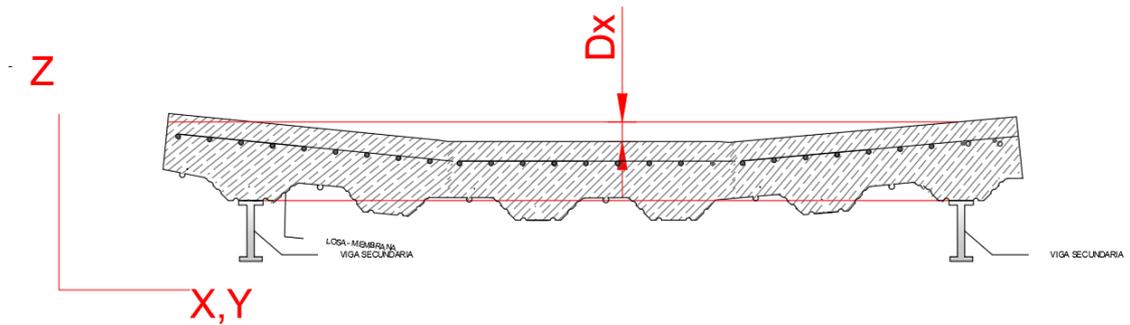


Ilustración 3, Flexión fuera de Plano

La ilustración 3 muestra la flexión fuera del plano del diafragma, esta flexión implica deformaciones verticales perpendiculares al plano del diafragma.

Este tipo de deformación se origina en la acción de cargas gravitacionales D , L ; las que son transversales (normales) al plano del diafragma.

2.4.3 Deformación Axial de Diafragma y su comportamiento como membrana.

Compresión

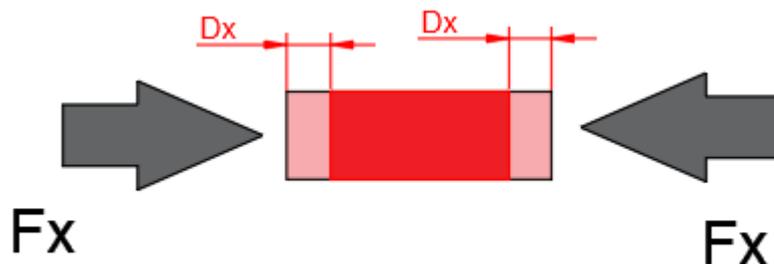


Ilustración 4, Deformación Axial a Compresión.

La ilustración 4 muestra la deformación en compresión de un elemento diferencial del diafragma. Esta deformación, es función de un acortamiento de su longitud a causa de una fuerza axial de aplastamiento, que actúa dentro del plano de diafragma.

Tensión:

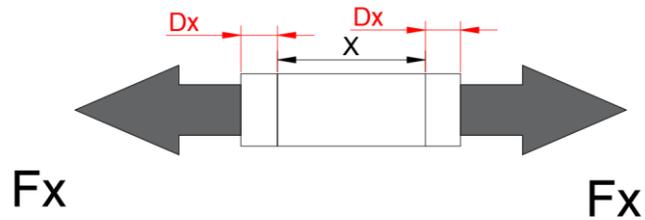


Ilustración 5, Deformación Axial a Tensión

La ilustración 5 muestra la deformación en tensión de un elemento diferencial del diafragma. Esta deformación es función de un alargamiento de su longitud a causa de una fuerza axial de tensión, que actúa dentro del plano de diafragma (comportamiento de membrana).

2.5 Elementos estructurales que componen un diafragma

Son elementos que resisten fuerzas axiales originadas en la flexión del diafragma en su plano. Estas fuerzas están asociadas con acción de la carga sísmica.

2.5.1 Cuerdas

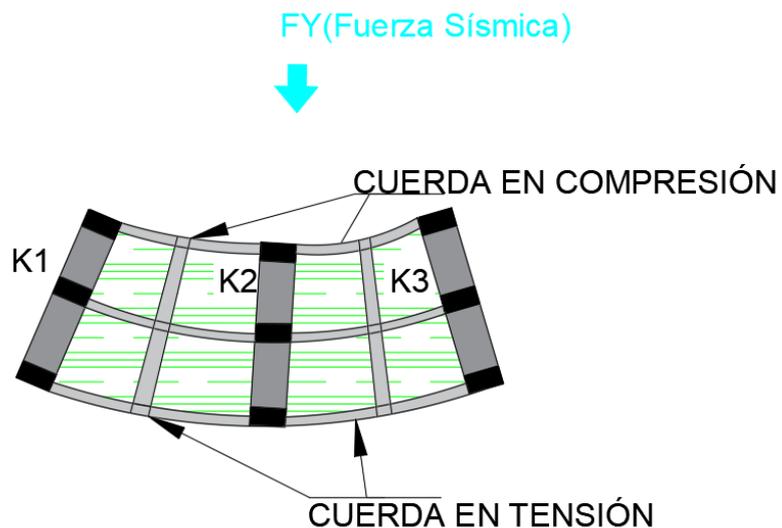


Ilustración 6, Losa vista en planta con flexión en su plano, y cuerdas del diafragma.

La ilustración 6 muestra la vista en planta de las cuerdas de un diafragma que se flexa en su plano. El diafragma tiene comportamiento de viga, en su parte superior tiene una viga que actúa como una cuerda en compresión y su parte inferior tiene una viga que actúa como una cuerda en tensión.

2.5.2 Colectores

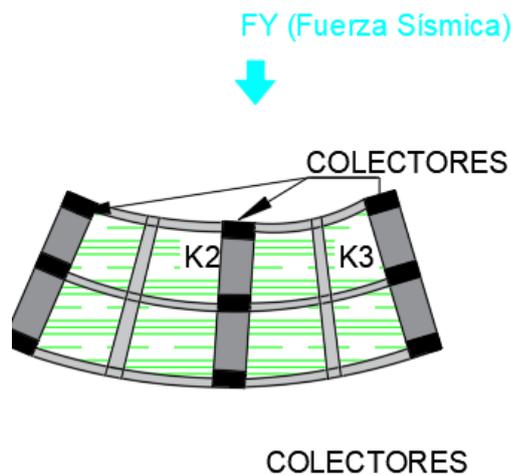


Ilustración 7, Diafragma con flexión en su plano, visualizando los elementos colectores.

La ilustración 7 muestra la vista en planta de los elementos colectores de un diafragma con flexión en su plano. Los colectores son los elementos que distribuyen la carga horizontal entre los elementos verticales en la dirección paralela a la carga sísmica aplicada.

2.6 Tipos de diafragmas (Clasificación clásica)

Se clasifican según la forma de distribuir las cargas en:

Diafragma Rígido: es aquel diafragma que distribuye la carga lateral sísmica, en función de las rigideces de los elementos verticales resistentes a sismos.

Diafragma Flexible: es aquel diafragma que distribuye la carga lateral sísmica, en función de las masas tributarias sobre los elementos verticales resistentes a sismos.

2.7 Diafragmas Semi-rígidos y Semi-flexibles (Clasificación del autor de este trabajo)

Diafragma semi-rígido es aquel que distribuye la fracción mayor de las cargas sísmicas como función de las rigideces de los elementos verticales y la fracción menor como función de las masas tributarias sobre dichos elementos.

Diafragma semi-flexible es aquel que distribuye la fracción mayor de las cargas sísmicas como función de las masas tributarias sobre los elementos verticales y la fracción menor como función de las rigideces de dichos elementos.

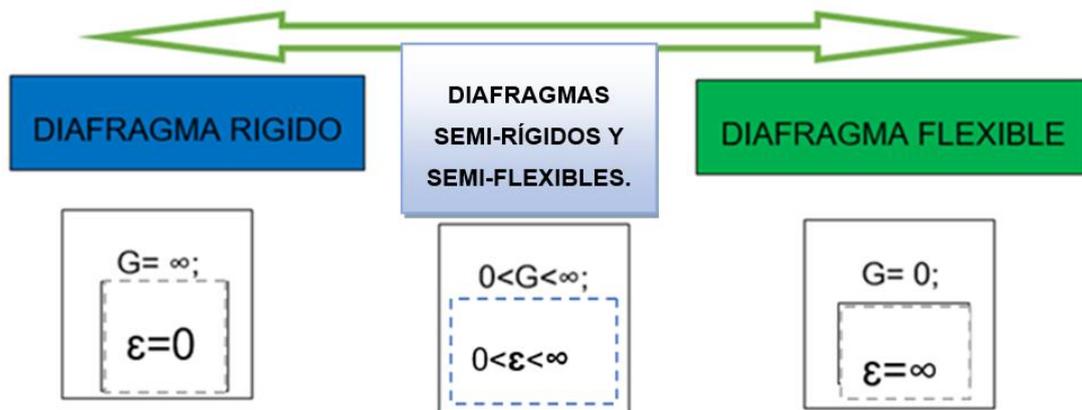


Ilustración 8, Clasificación de los tipos de diafragmas

G = Rigidez a corte del diafragma.

ϵ = Deformación axial en el plano del diafragma.

2.7.1 Centro de masa (CM) del Diafragma Rígido

El centro de masa es el punto donde se concentra todas las cargas gravitatorias de un piso en un diafragma rígido.

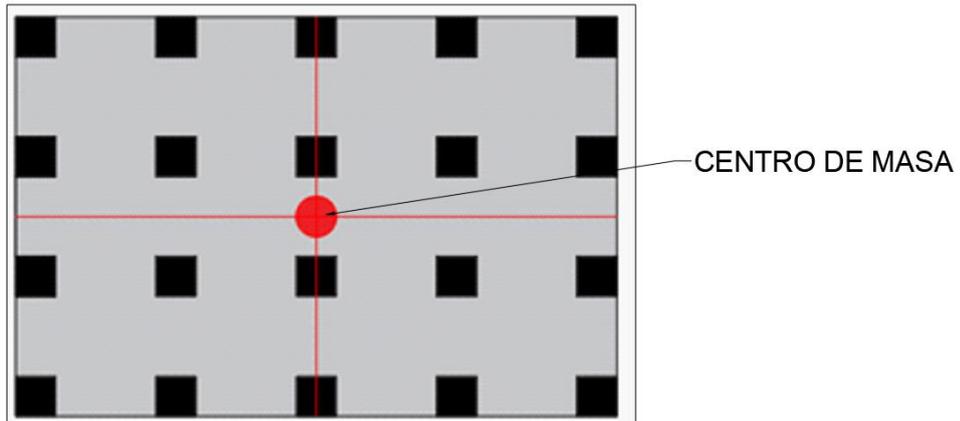


Ilustración 9, Centro de masa de una estructura regular

El centro de masas es un punto donde se concentra todas las cargas o las acciones gravitatorias de un piso. En una estructura con distribución uniforme de masas sobre el área de la planta de un piso y configuración simétrica regular, la ubicación del centro de masa coincide con el centro geométrico de la planta.

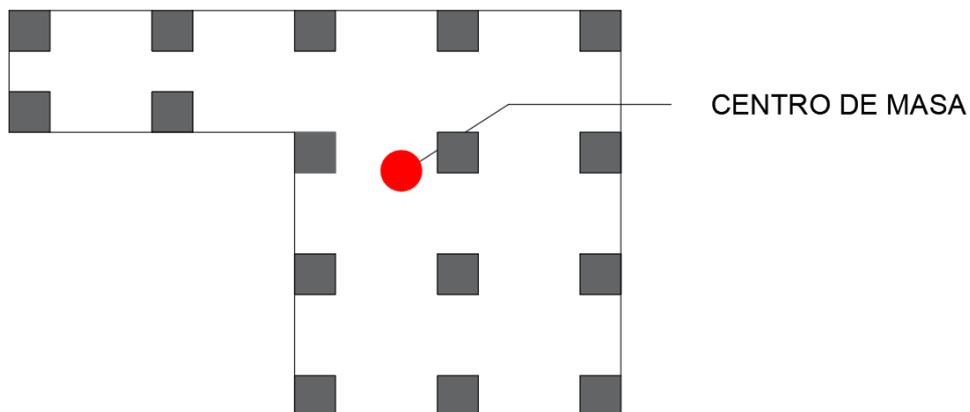


Ilustración 10, Centro de masa de estructura irregular.

En una estructura irregular con distribución no uniforme e irregular de masas, el centro de masas no estará ubicado en el centro geométrico.

2.7.2 Centro de rigidez (CR) en diafragmas rígidos

Es un punto donde se concentra toda la rigidez lateral de la planta. Este punto varía dependiendo de la regularidad de la estructura, con relación a la rigidez de los elementos verticales resistentes a carga lateral.

2.7.3 Excentricidad de masas en un diafragma rígido

En edificios, es común que el centro de masa no coincida con la posición del centro de rigidez, pero es conveniente diseñar la estructura con la mayor aproximación entre estos dos puntos para disminuir el efecto de torsión provocado por la excentricidad entre estos puntos que da como resultado un momento torsor. («Estructuras Sismorresistentes», s. f.).

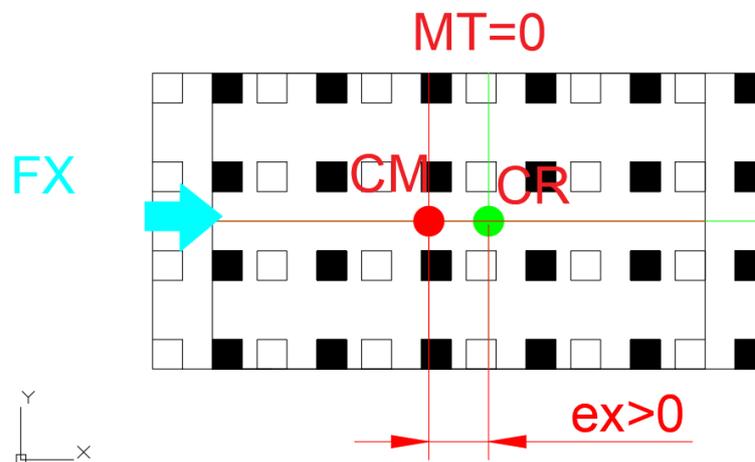


Ilustración 11, Corte sin torsión.

En la ilustración 11 se muestra la acción de traslación en “x” de un diafragma rígido sin excentricidad en “y” ($e_y = 0$). Se tiene excentricidad ($e_x > 0$); pero dicha excentricidad no acciona torsión ($MT = 0$), cuando la fuerza sísmica (F_x) es colineal con la excentricidad e_x .

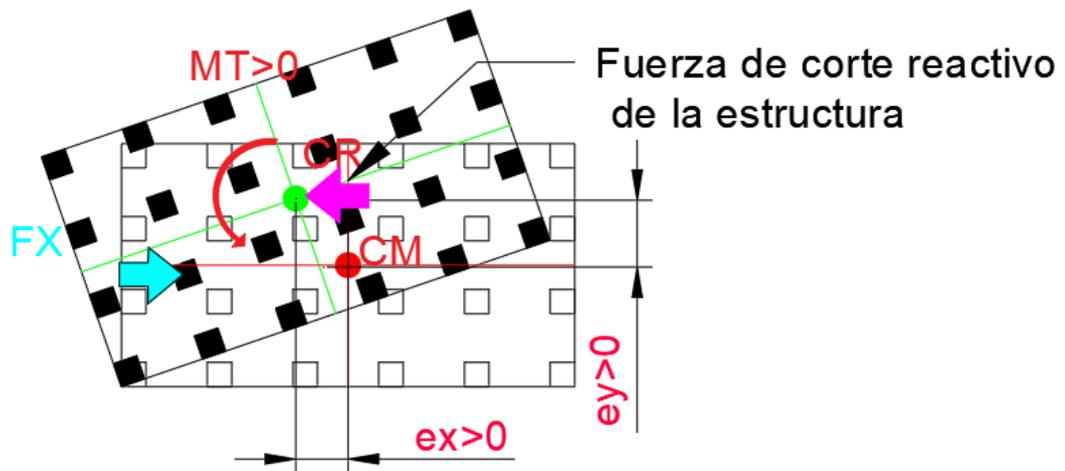


Ilustración 12, Corte con excentricidad y torsión.

En la ilustración 12, se muestra la torsión sin traslación con excentricidad $e_y > 0$; $e_x > 0$ con corte sísmico en la dirección "x", con un momento torsor producido por la excentricidad e_y .

2.7.4 Rigidez fuera del plano del diafragma

La rigidez fuera del plano del diafragma debe ser pequeña para el diseño de estructuras con buen desempeño sísmico.

Lo que interesa en un diafragma de una estructura con buen desempeño sísmico, es que tenga buena rigidez en su plano actuando como membrana inextensible.

Si se tiene una losa de espesor grande, con una inercia mayor a 8 veces (tomada como inercia de viga), la inercia de las columnas en la dirección de la carga sísmica aplicada; se configura un diafragma infinitamente rígido fuera de su plano provocando el empotramiento en las columnas en el diafragma, la formación de rótulas plásticas en las columnas débiles, tal como se muestra en la ilustración 13.

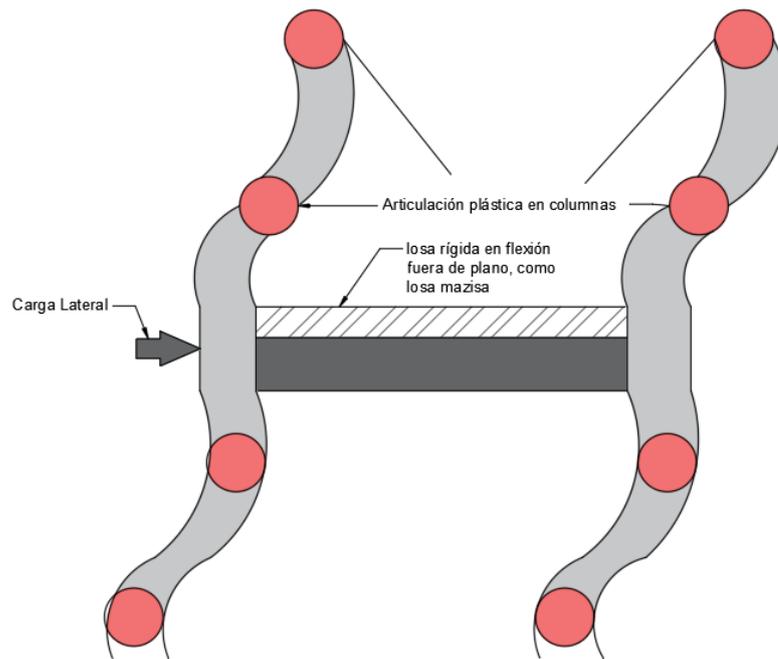


Ilustración 13, Formación de rótulas plásticas a causa de la rigidez infinita del diafragma fuera de un plano.

Este sistema estructural de losa fuerte y columnas débiles, se debe diseñar con un $R=3$ y $R=5$ si las columnas son dúctiles, dado que las rótulas plásticas se forman en las columnas a causa de la placa rígida a flexión fuera de su plano.

Cuando el diafragma es flexible fuera de su plano, se permite la formación de rótulas en vigas y el diseño de pórticos dúctiles especialmente diseñados para resistir sismos con columnas fuertes y vigas débiles. Dichos sistemas pueden ser diseñados con $R=8$.

PÓRTICO DÚCTIL

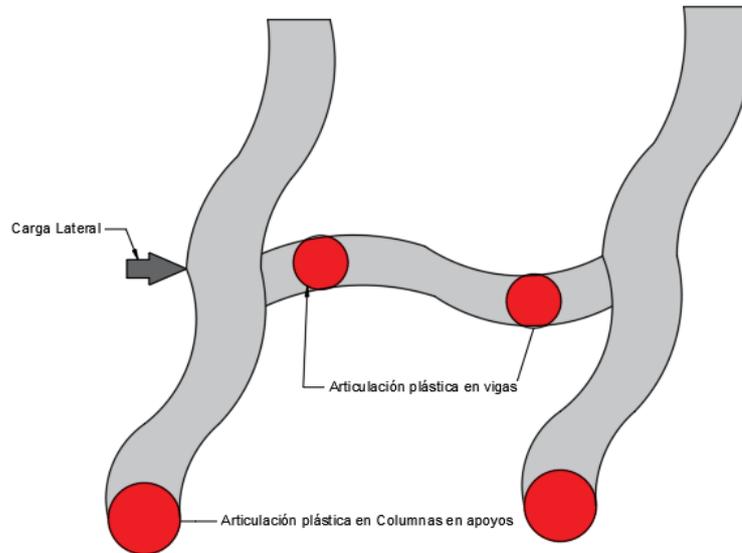


Ilustración 14, Diafragma flexible fuera de su plano y pórtico dúctil.

El diseño de estructuras muy dúctiles es posible cuando se consigue que las vigas se flecten y al flectarse se formen las rótulas en las vigas antes que en las columnas. Para cuyo efecto, se necesita tener un diafragma débil en flexión fuera de plano como se observa en las ilustraciones 14 y 15.

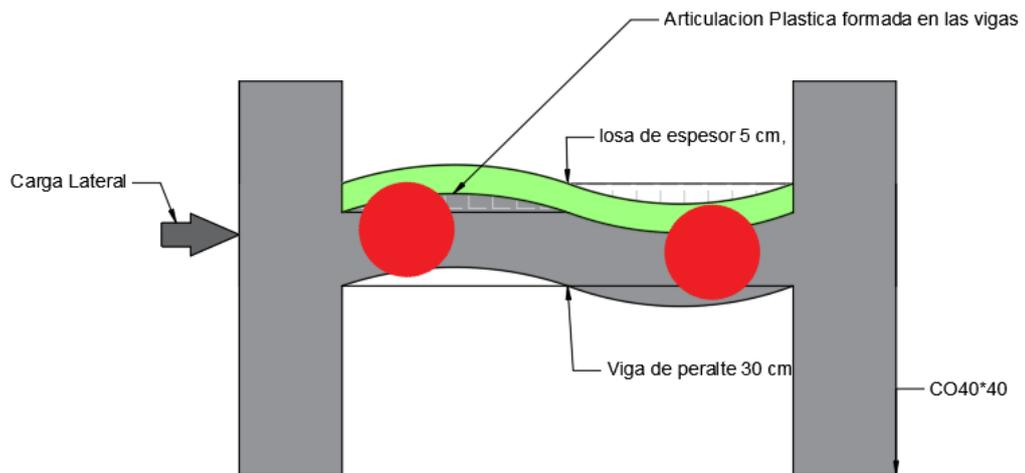


Ilustración 15, Pórtico dúctil con diafragma débil a flexión fuera de plano.

Como se muestra en la Ilustración 15; si se tiene a una losa de pequeño espesor (5cm, por ejemplo) conectada a vigas peraltadas, este tipo de losa es flexible fuera de su plano y permite la flexión de las vigas.

La losa podría ser un diafragma rígido, semi-rígido o semi-flexible en su plano, pero al mismo tiempo muy flexible fuera de su plano.

2.8 Definición clásica de un diafragma rígido

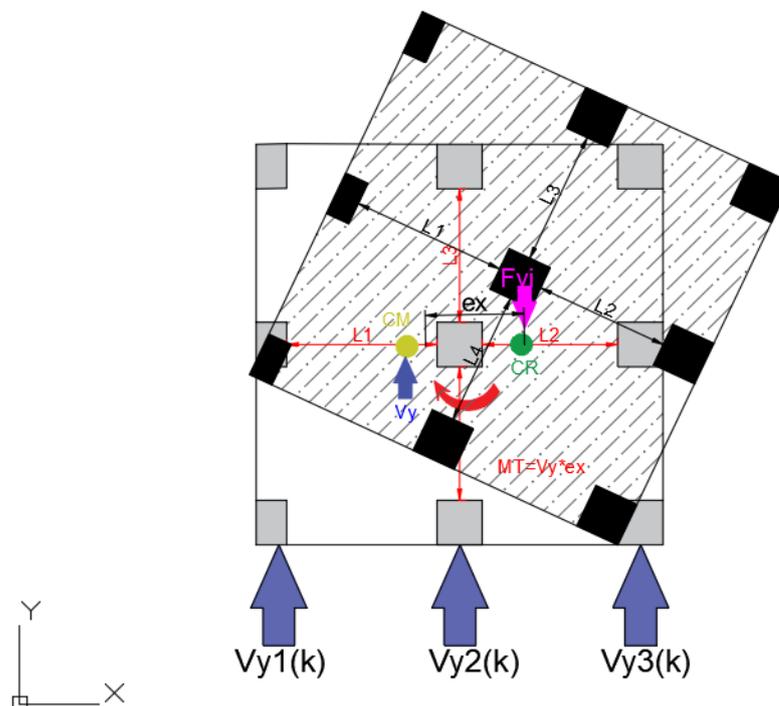


Ilustración 16, Diafragma Rígido, con excentricidad entre centro de masa y rigidez

La ilustración 16 muestra el comportamiento de un Diafragma Rígido, cuya principal característica es la de experimentar movimientos de cuerpo rígido en traslación y rotación frente a la acción de cargas laterales distribuidas sobre sus elementos resistentes a sismos como una función de las rigideces laterales de dichos elementos, de tal manera que L1, L2, L3, L4 no cambian de dimensión. Un Diafragma Rígido es indeformable en su plano.

Fuera de su plano, el diafragma rígido debe ser deformable en flexión; permitiendo la flexión de vigas y la formación de mecanismos de columnas fuertes y vigas débiles.

En cuanto a la distribución de carga horizontal en Diafragmas Rígidos, esta es función de la rigidez de los elementos verticales resistentes a carga sísmica lateral.

Cumple como requisito de proporcionar:

- Rigidez axial infinita en su plano
- Rigidez infinita a corte y flexión en su plano
- Tiene movimientos de cuerpo rígido en su plano.

Este tipo de diafragma se modela restringiendo el movimiento relativo entre los nodos contenidos en el plano del diafragma (opción “joint constraint” dentro del SAP2000).

Ventajas:

- Mayor eficacia de cómputo, debido al menor número de grados de libertad asociados con el diafragma rígido.
- Efectivo para estructuras que involucran cargas dinámicas.

Desventajas:

- La solución no produce ninguna información sobre las esfuerzos internos del diafragma, ni reporta ninguna fuerza horizontal en los miembros que descansan en el plano de piso (por ejemplo, las vigas colectoras o cuerdas).
- Subestima las deformaciones laterales de edificios con diafragmas con problemas de flexibilidad, entre otros.

2.9 Diafragma Flexible (Flexibilidad infinita)

Un diafragma con flexibilidad infinita desde una perspectiva funcional, es un sistema de piso que no cumple con su rol de ser una membrana inextensible en su plano.

La mejor forma de modelar un diafragma de este tipo es ignorarlo como si no existiera y el sistema de piso sería una masa y carga para la estructura; sin ofrecer ninguna restricción ni rigidez para deformaciones de los siguientes tipo:

- axiales en su plano,
- flexión y corte en su plano,
- flexión fuera de plano.

Ejemplos clásicos donde se adopta este tipo de modelo:

- Pisos de entablados de Madera
- Cubiertas de Eternit
- Pisos o cubiertas de lámina de acero que pandean fuera de su plano.
- Pisos de losa de hormigón sobre placa colaborante Steel-Deck donde los pernos conectores fallan y se pierde la acción de diafragma deslizándose el hormigón de la losa sobre la placa de acero, pandeándose la lámina de acero o en definitiva desintegrándose su vinculación rígida axial, en corte y flexión con la estructura primaria resistente a sismos.

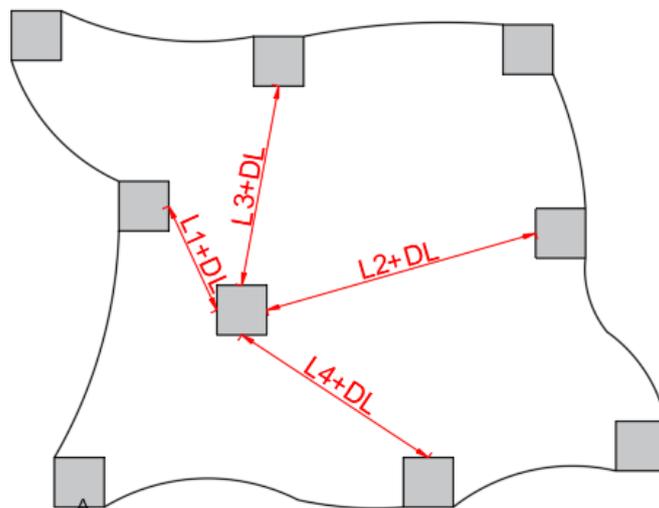


Ilustración 17, Diafragma flexible

La ilustración 17 muestra el comportamiento de un diafragma infinitamente flexible, aquel en el cual la rigidez axial de la membrana es despreciable, De igual manera: L1, L2, L3, L4 varían y se deforman, por lo tanto, se considera variaciones de longitud ($DL = \Delta$ Longitud), sin restricción del sistema de piso para el desplazamiento relativo de las columnas.

En cuanto al comportamiento físico, mecánico del diafragma, se tiene todo tipo de flexibilidad. Debido a que no existe material alguno en el cual la rigidez axial sea despreciable y tenga restricción a flexión en el plano, fuera de plano, rotación, desplazamiento, etc; se debe clasificar a un diafragma como flexible a partir de la característica de extensibilidad del diafragma en su plano.

2.9.1 Distribución horizontal de cargas sísmicas en los Diafragmas Flexibles

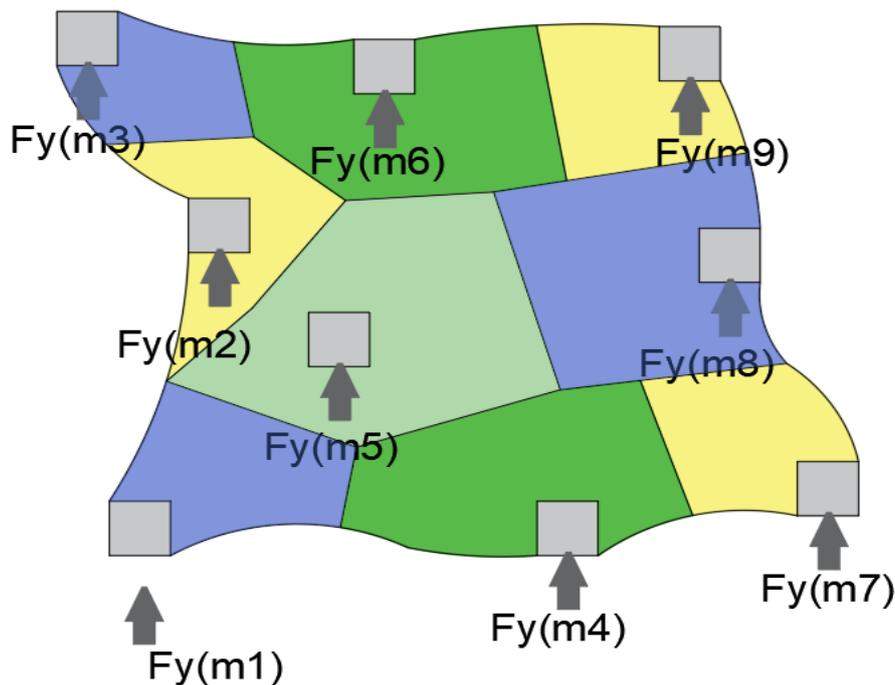


Ilustración 18, Distribución de carga lateral en un diafragma infinitamente flexible.

La distribución de carga lateral en un diafragma flexible está en función de las masas tributarias sobre las columnas. La ilustración 18 muestra la correspondiente área tributaria sobre cada columna y se presume una

distribución uniforme de masas que se reparte a cada columna de la estructura.

2.10 Diafragma de flexibilidad finita o Semi-flexible.

$$0 < G < \infty$$

G= Rigidez a corte del diafragma.

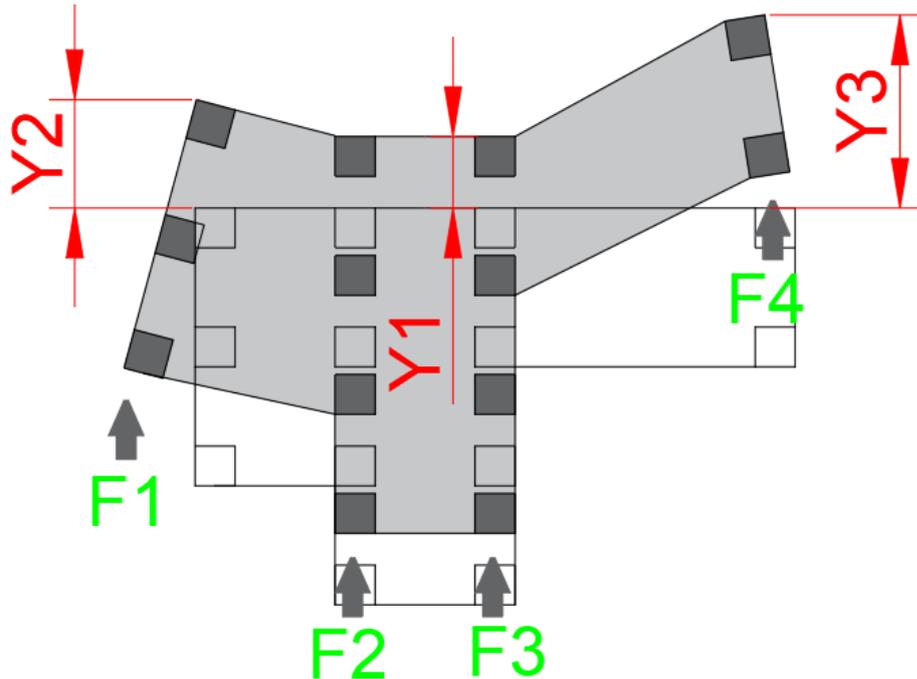


Ilustración 19, Comportamiento de diafragma flexible en su plano, diafragma Semi-flexible.

En el diafragma semi-flexible, la distribución de cargas laterales dispone de rigidez a corte finita. La ilustración 19 muestra que el diafragma puede flectar en su plano como consecuencia de distorsiones angulares de corte. Su deformación axial también es finita, la distribución de cargas laterales es un proceso progresivo; conforme el diafragma se va agrietando el sistema de distribución de carga pasa de ser función de rigidez de los elementos verticales resistentes a carga lateral, a ser función de la masa tributaria correspondiente a cada elemento vertical; en este caso a cada pórtico.

2.10.1 Modelamiento de cargas aplicadas en un diafragma semi-flexible

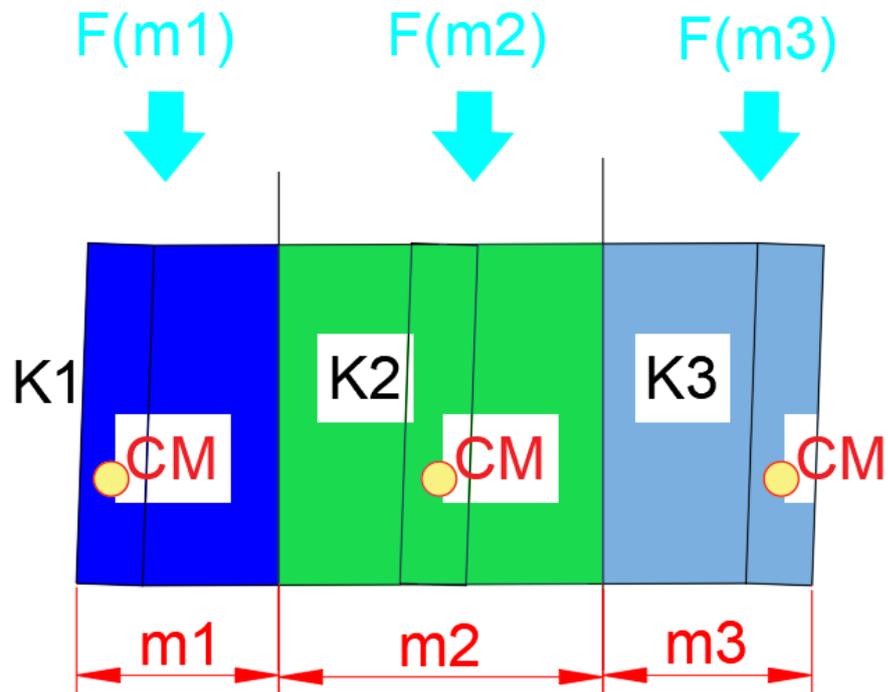


Ilustración 20, Diafragma Semi- Rígido con cargas laterales aplicadas sobre cada pórtico como función de masas participantes.

Para modelar la aplicación de cargas en un diafragma semi-flexible, se propone distribuir el cortante total del piso en función de las masas tributarias sobre cada pórtico resistente y aplicar las fuerzas de cada pórtico sobre los centros de masas de cada pórtico.

2.11 Modelado de Diafragma Rígido usando SAP2000

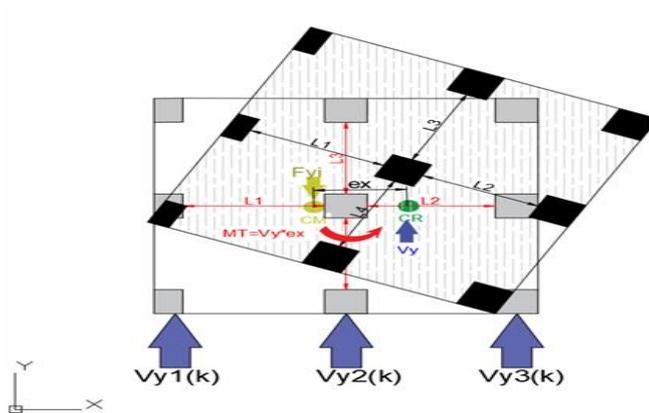


Ilustración 21, Modelado de diafragma rígido, mediante SAP2000

El modelamiento de diafragma rígido mediante SAP2000, se puede observar en la ilustración 21, donde se aplica una excentricidad entre el centro de masas y el centro de rigidez, la que da lugar a una torsión.

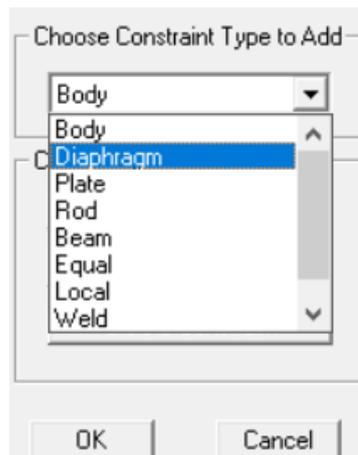


Ilustración 22, Modelado de diafragma rígido mediante SAP2000

En la Ilustración 22 de SAP2000 se muestra el tipo de configuración que SAP requiere para los nodos (joint Constraint). Al utilizar la opción Diaphragm a todos los nodos, se crea la deformación restringida entre ellos, la rigidez axial y a flexión es infinita en el plano del diafragma y se obliga a que la losa trabaje como cuerpo rígido.

2.12 Modelamiento de un diafragma semi-rígido en su plano (modelado tipo viga).

Aplica al diseño de diafragmas rígidos con flexión en el plano, Fue propuesto por “Sabelli y otros” y se plantea el modelamiento considerando a la losa como una viga en la cual sus elementos verticales resistentes a carga lateral actúan como apoyos de la viga.

Una limitante de este modelo es que asume que todos los elementos verticales son de igual rigidez o indeformables; tal que el eje neutro del diafragma se mantiene horizontal y restringido a desplazamientos relativos entre soportes.

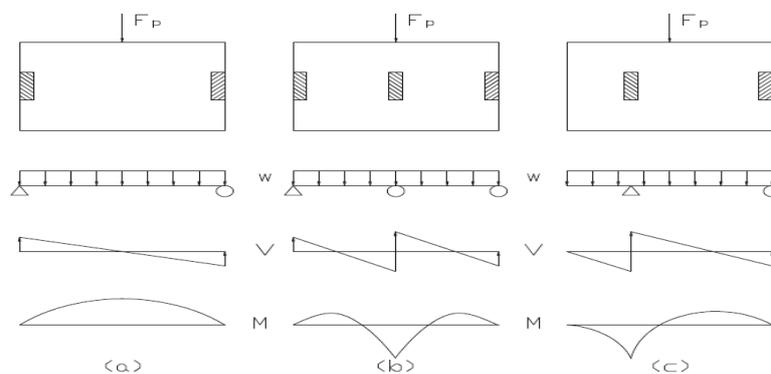


Ilustración 23, Análisis de diafragmas con flexión en su plano, fuente: (Rafael Sabelli y otros)

En la ilustración 23, se presentan tres modelos tipo propuestos por sabelli y otros:

- (a) Apoyos fijos.
- (b) Número de apoyos equivalentes al número de elementos de soporte vertical.
- (c) Voladizo de diafragma tomada como voladizo de viga.

En este método, las reacciones se determinan sin considerar la flexibilidad de los elementos verticales.

Para considerar dicha flexibilidad, este modelo puede ser mejorado asumiendo desplazamientos relativos entre soportes, mediante el uso de un sistema de resortes cuya rigidez es equivalente a la rigidez lateral de los elementos verticales.

Con este método, el diafragma se analiza para establecer la ruta de carga de la masa inercial sobre los elementos verticales. Este análisis no necesita ser riguroso en las propiedades del diafragma y este método es adecuado siempre que haya una buena correlación entre la masa inercial y el flujo de carga horizontal hacia los elementos verticales(Rafael Sabelli et al., s. f.).

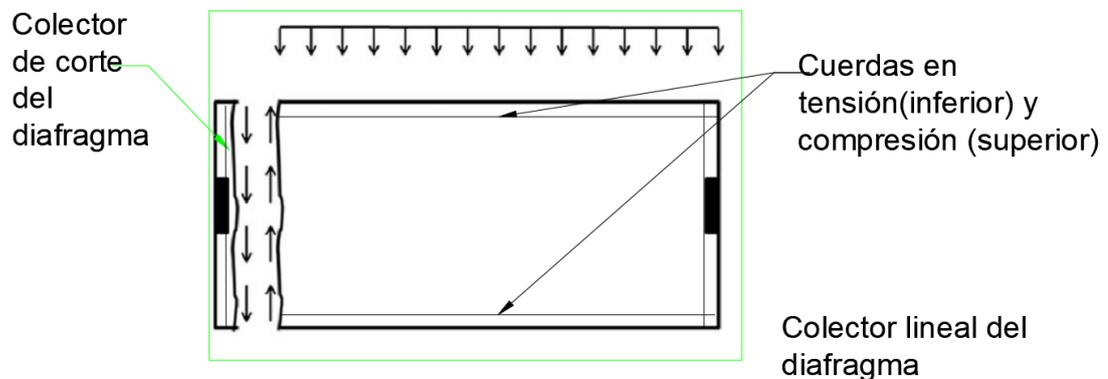


Ilustración 24, Colectores y cuerdas del diafragma de Sabelli y otros.

En la ilustración 24, el momento flector en el plano representa fuerzas últimas (M_u) del diafragma, que actúan como una pareja de cuerdas en tensión y compresión, separadas por la profundidad del diafragma. La fuerza que aumenta linealmente se junta desde el diafragma en corte, por lo tanto, se considera corte uniforme en toda su profundidad como una viga peraltada.

Este análisis se basa en que las fuerzas obtenidas por medio de la cortante basal "V", función del periodo fundamental, no es la carga con la cuál se analiza el diafragma. Debido a que el diseño de losa se lo debe realizar en el rango elástico, por cuanto los componentes no son dúctiles, se diseña el diafragma usando el factor de sobre resistencia $\Omega=3.0$ y para la fuerza de corte $\Omega*V=3V$, correspondiente al diseño del pórtico dúctil con un $R=8$.

Teniendo en cuenta estas consideraciones “Sabelli y Warren” , explican que mediante el análisis de diafragma como una viga y un método simplificado de resistencia de materiales, se encuentran los momentos, cortantes excentricidades, desplazamientos, rotaciones, producido por la carga lateral(Rafael Sabelli, P.E., S.E; Warren Pottebaum, S.E.; and Brian Dean, LEED AP, 2009).

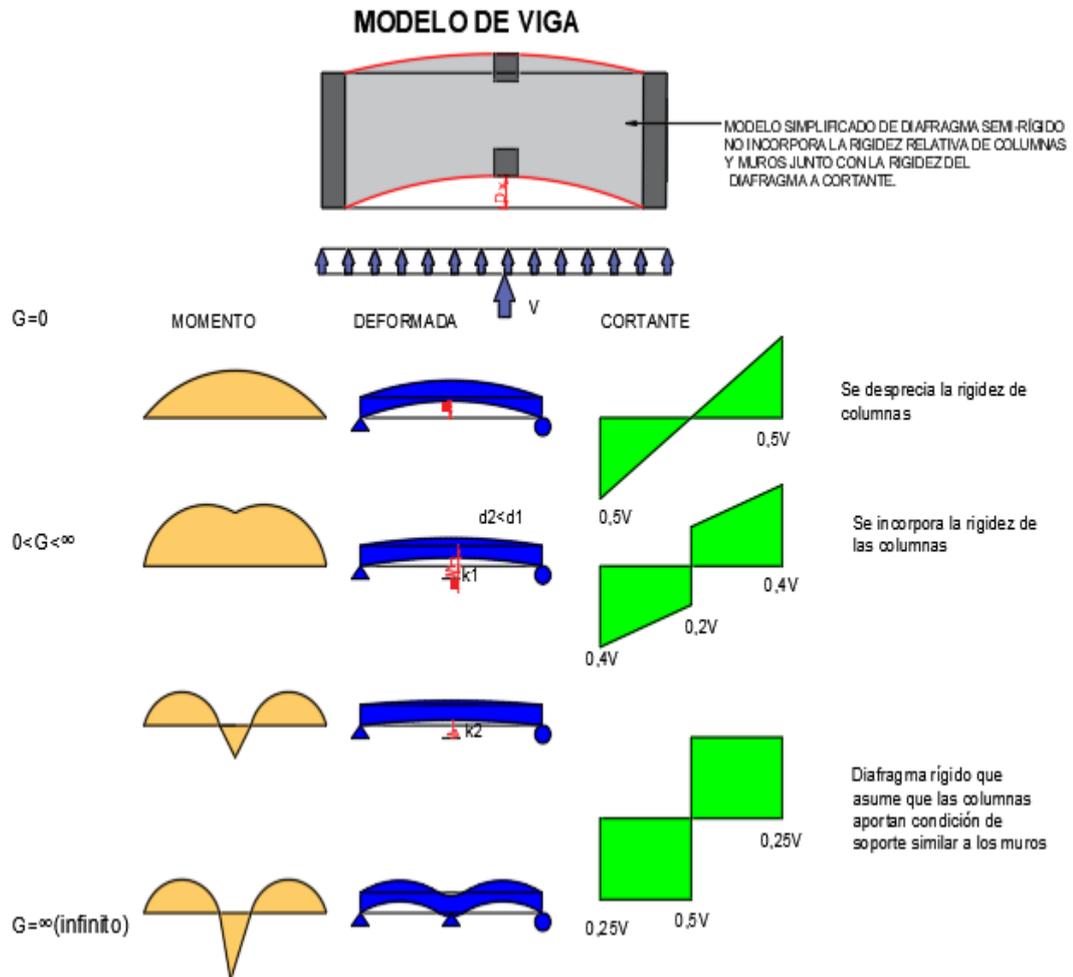


Ilustración 25, Comportamiento diafragma flexible, semi- rígido, rígido en su plano analogía de viga propuesta por Naim 2001.

En la ilustración 25 se muestran los diafragmas de la deformada, cortante y momento de un diafragma con un modelamiento tipo viga según su cambio en la consideración de la rigidez a corte del soporte interior formado por dos columnas(Naim,2001).

Se nota el efecto que ocasiona en el resultado final, que la rigidez de los soportes sea idealizada de distinta manera. Esta es la principal debilidad de este método.

2.13 Modelo No-Lineal de diafragma Semi-flexible con elementos colectores de rigidez axial infinita (Rods- constraints).

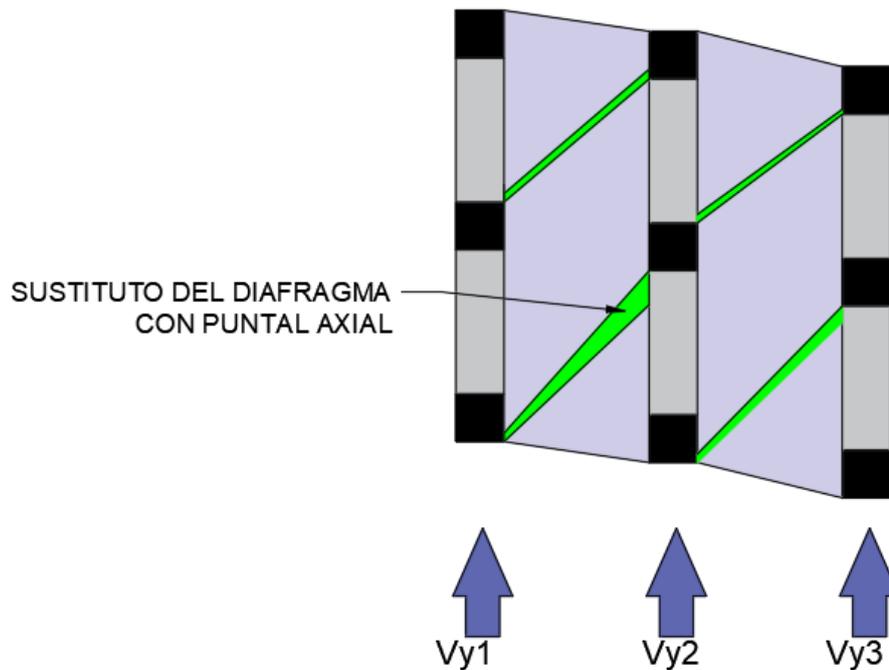


Ilustración 26, Diafragma semi rígido modelado con elementos colectores.

La ilustración 26 muestra el modelamiento de diafragmas con elementos colectores (Rod-constraints) o vigas de rigidez axial infinita. Las vigas colectoras son parte de los pórticos y los pórticos pueden desplazarse diferencialmente, permitiendo que el diafragma se deforme y agriete en cortante y todo el diafragma en conjunto se flecte.

Consideraciones del modelo de diafragma Semi-Flexible

- Un Diafragma Semi-flexible de elementos colectores axialmente rígidos permite flexión en el plano, debido a que los pórticos pueden desplazarse diferencialmente en la dirección de la carga horizontal aplicada.

- Las cargas se aplican sobre los pórticos en función a la masa tributaria de cada pórtico. Se plantea como hipótesis que un determinado diafragma modelado será semi-flexible pudiendo el resultado final indicar que su comportamiento corresponde más al de un diafragma semi-rígido.
- El análisis Pushover construirá el cortante reactivo sobre cada pórtico como una función de las rigideces laterales de los pórticos; las rigideces de los elementos cuerda axialmente deformables en flexión en el plano del diafragma; y de las propiedades no lineales de las losas modeladas como puntales axiales.
- Se desprecia la placa de acero del sistema “Steel Deck”, asumiendo que falla por adherencia o se desliza sobre la losa de hormigón.
- La capacidad de corte en el diafragma se basa en la resistencia de diseño del hormigón o concreto sobre las crestas del “Steel Deck”. Solo se considera el hormigón sobre las crestas de la placa, sin considerar las cavidades de hormigón y la placa colaborante. Por motivos prácticos se considera la resistencia del hormigón a corte en el plano del diafragma $V_n = 4\sqrt{f'_c}$ en KSI. Correspondiente a hormigón no reforzado como material isotrópico (ACI 318).
- Los conectores de corte (shear studs) no fallan y permanecen elásticos.

2.14 Comportamiento sísmico de los distintos tipos de diafragmas.

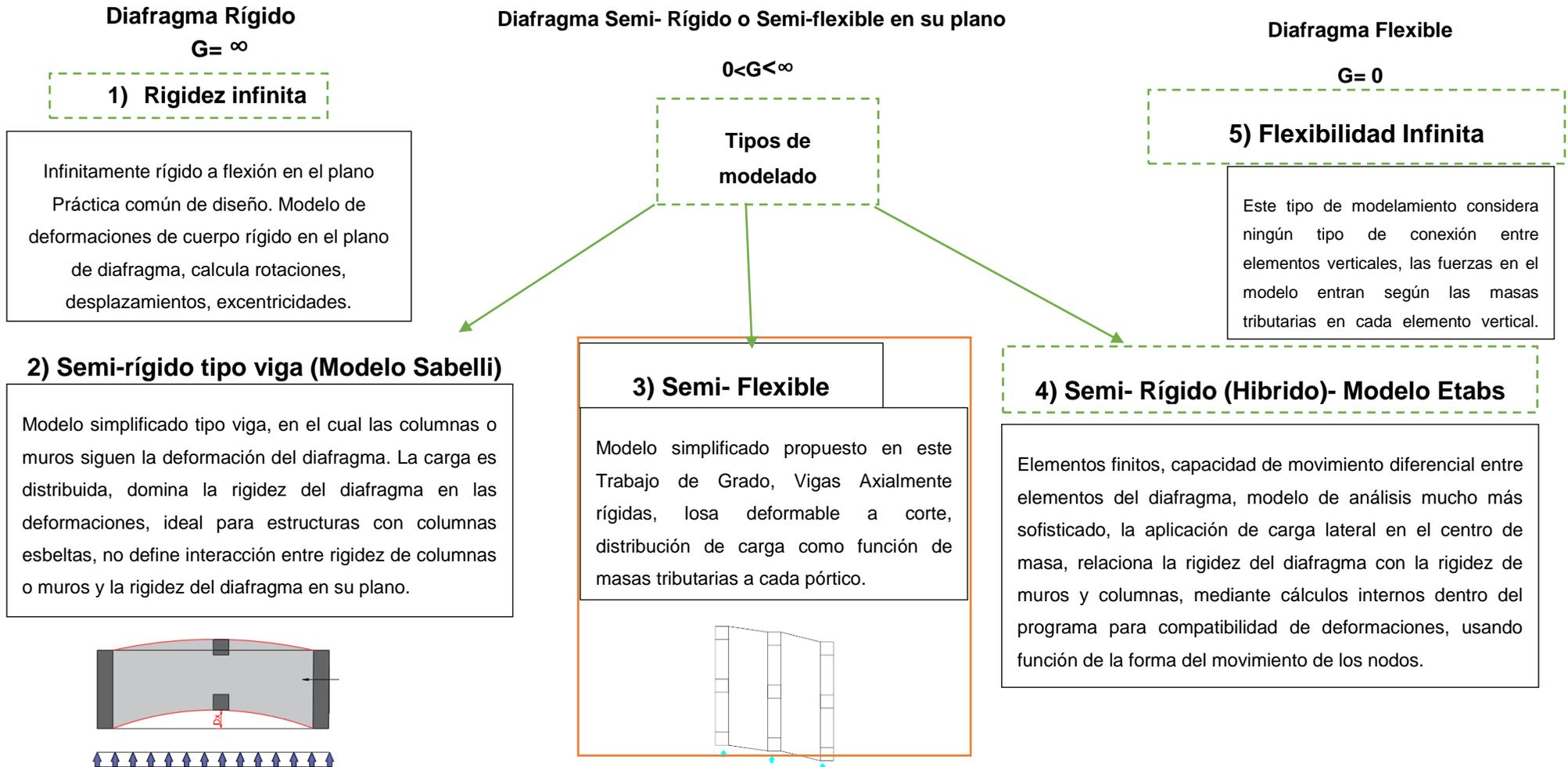
Los diafragmas con buen comportamiento sísmico deben ser:

- Semi-flexibles o semi-rígidos en su plano.
- Flexibles a flexión fuera de su plano.

Los diafragmas que no tienen buen comportamiento sísmico son rígidos fuera de su plano.

En la ilustración 27 se presenta un resumen de los distintos tipos de diafragmas y sus propiedades.

Ilustración 27, Tipos de diafragma y sus principales propiedades



2.15 Diafragma Semi-rígidos tipo Steel Deck

La construcción típica de losa compuesta consiste en marcos de acero y losa de hormigón liviano o estructural de peso normal $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$. La losa de hormigón se asienta sobre una plataforma de placa de acero con relieve que sirve como encofrado fijo y podría servir también como refuerzo de tracción para la resistencia a las cargas; siempre que se conecte al hormigón mediante pernos pasadores de corte elásticos.

Dado que en algunos sistemas la adherencia entre la placa de acero y la losa de hormigón no es buena cuando los resaltes de la placa no son suficientes, y los pernos pasadores de corte son débiles, en este trabajo de grado no se modela la colaboración de la placa de acero como refuerzo y solamente se considera su función como encofrado.

Se usa refuerzo en cuantías mínimas dentro de la losa de hormigón para restringir las grietas en el concreto causadas por los efectos de contracción y temperatura. El refuerzo estructural puede estar en la forma de barras deformadas, refuerzo de alambre soldado, fibras de acero, macro fibras sintéticas o una mezcla de fibras de acero y macro fibras sintéticas (comflornz, s. f.). Por simplicidad y dado que las cuantías de refuerzo son generalmente muy bajas, el comportamiento de la losa de hormigón se considera correspondiente a hormigón simple como material isotrópico.

2.15.1 Transferencia a corte entre losa y pórticos.

Una variedad de sujetadores se puede utilizar para lograr esta transferencia de corte. Estos incluyen soldaduras de punto de arco (o charco), tornillos auto perforantes, sujetadores accionados por pólvora y cabeza de acero, anclajes de espárrago, etc. Además, la fijación de la costura lateral se puede realizar usando soldaduras, tornillos o rizado, ya sea tradicional o mediante costura patentada. La fijación de la costura lateral tiene poca influencia en la fuerza del diafragma.

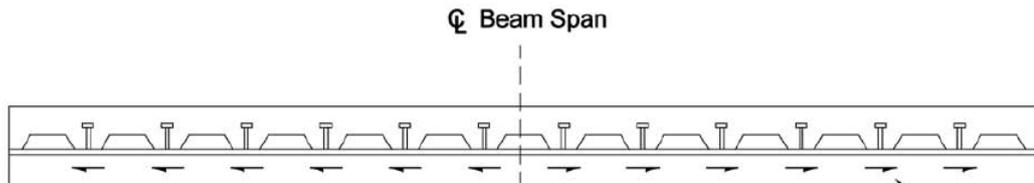


Ilustración 28, Dispositivo de transferencia de corte, Fuente Nist.

La selección del tipo y número de sujetadores depende del nivel de fuerza que necesita ser transferido. (Rafael Sabelli et al., s. f.).

2.15.2 Headed Stud (pernos conectores distribuidores de cortante)

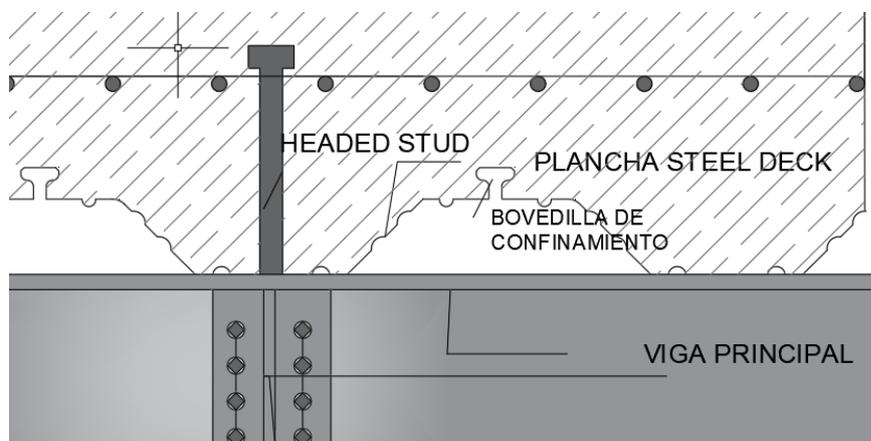


Ilustración 29, STEEL DECK con diseño de Headed stud (Sistema norteamericano)

Los anclajes con cabezales se detallan para proporcionar la acción compuesta deseada entre la losa y el pórtico para la resistencia a las cargas de gravedad y sismos. En AISC 360, se estipula que, en los diafragmas compuestos, los conectores deben diseñarse, aunque no se proporciona una orientación específica.

Una cantidad significativa de anclajes de acero resulta en un costo adicional, y el comportamiento no es completamente conocido. Estos miembros pueden diseñarse como vigas compuestas en toda su longitud (comflornz, s. f.).

2.15.3 Pernos conectores distribuidores de cortante sistema ecuatoriano (NOVALOSA):

En este sistema los pernos no son robustos y si no se usan en número suficiente pueden fallar. A diferencia del sistema de conectores de corte americano (headed studs), su dimensión es pequeña, por lo que no se puede asegurar que el ΦV_n del perno pueda resistir fuerzas de transferencia de corte incrementado por excentricidades o discontinuidades. Si el conector falla no gobierna un comportamiento inelástico debido a que la conexión es un elemento débil y no hay posibilidad de vincular el hormigón a la estructura, obteniéndose como resultado un diafragma flexible.

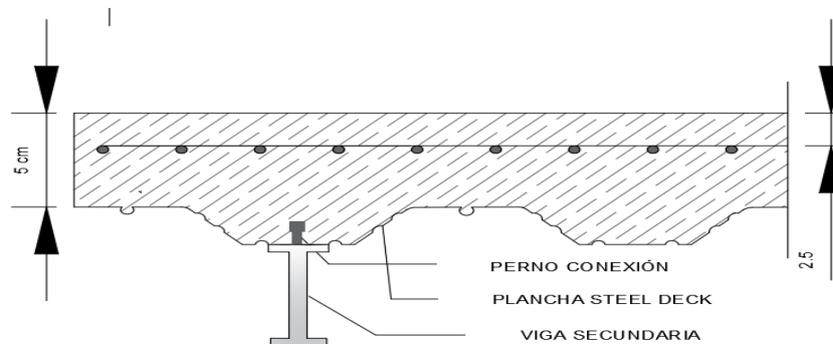


Ilustración 30, Perno conector diafragma con viga secundaria, principal.

2.16 Modelamiento no lineal de diafragmas

Cuando se espera que el comportamiento no lineal de los diafragmas tengan un efecto significativo en el comportamiento general del edificio, el diafragma se puede considerar como controlado por deformación y los elementos se pueden modelar como inelásticos (Jack P. Moehle et al., s. f.).

2.16.1 Normas en las cuales se proporcionan modelos a seguir para el análisis no lineal de diafragmas

La relación fuerza-deformación Capítulo 10 de ASCE / SEI 41-17 proporciona la columna vertebral y criterios de aceptación para muros de corte de concreto que puede servir como una guía para un modelo

apropiado para un diafragma de concreto no lineal(NIST GCR 17-917-46v1, 2017).

2.16.2 Procedimiento estático no lineal (Pushover)

El método consiste en aplicar una distribución vertical de carga lateral a la estructura la cual debe incrementarse monótonamente hasta que la estructura alcance el máximo cortante basal.

2.16.3 Método de Modelación(FEMA 356, 2000)

La sección del puntal axial relacionada con la geometría de la sección estudiada parte del capítulo 7 de FEMA 356, 2000.

2.16.3.1 Diafragma controlado por deformación (dúctil)

Este análisis funciona cuando las conexiones no controlan el comportamiento estructural.

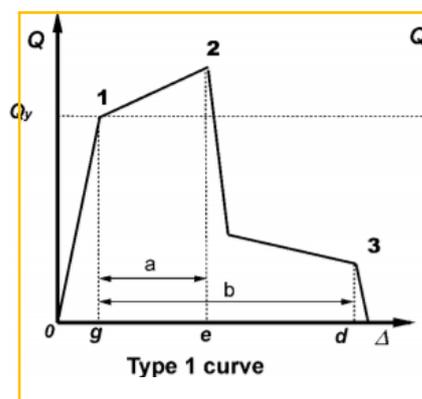


Ilustración 31, Comportamiento no lineal de un elemento, (FEMA 356,2000)

Al observar la ilustración 31 el rango de 2 a 3 representa el comportamiento dúctil, el rango 0 a 1 representa el comportamiento elástico y el rango de 1 a 3 representa el comportamiento plástico.

La resistencia residual y capacidad para soportar cargas de gravedad correlaciona con el punto 3. El rango de plástico incluye un endurecimiento por tensión de 1 a 2 y una degradación de la fuerza en el rango de 2 a 3.

Los componentes primarios que exhiben este comportamiento se clasificarán como controlados por deformación si el endurecimiento por deformación es tal que ($e > 2g$); de lo contrario, deberán ser clasificados como controlado por la fuerza. Los componentes secundarios muestran el comportamiento de la ilustración 32 y se clasificarán como controlados por deformación para cualquier relación (e / g).

El comportamiento del elemento se debe clasificar como de deformación-controlada por ductilidad para la curva de la ilustración 31 (FEMA 356, 2000). Donde QCE es la resistencia al corte esperada, correspondiente a hormigón no reforzado como material isotrópico.

Ecuación 1

$$QCE = Vine = Ani * fvie$$

Ecuación 2

$$fvie = 4\sqrt{f'c} \text{ en lb/in}^2 \quad (\text{ACI (318S-14), s. f.})$$

Ani= área de sección de losa que soporta la carga lateral.

fvie= Esfuerzo al corte esperado por el hormigón.

2.16.3.2 Efectos de las cargas verticales

Cuando las cargas de gravedad son aditivas a las cargas sísmicas se deberá tomar la ecuación.

Ecuación 3

$$Qg = 1.1(Qd + Ql)$$

Qd= carga muerta.

Ql= carga viva efectiva reducida al 25% de la carga viva del diseño no reducida, pero no menos que la carga real.

2.16.3.3 Sección equivalente del puntal según (FEMA 356, 2000)
Capítulo 7

La losa del diafragma antes del agrietamiento se presentará con un puntal axial diagonal equivalente de ancho "a", El puntal equivalente tendrá el mismo espesor y módulo de elasticidad correspondiente a un paño de la losa del diafragma que representa.

Sección equivalente

Ecuación 4

$$a = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

Ecuación 5

$$\lambda = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \text{sen} 2\theta}{4 * E_{fe} * I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

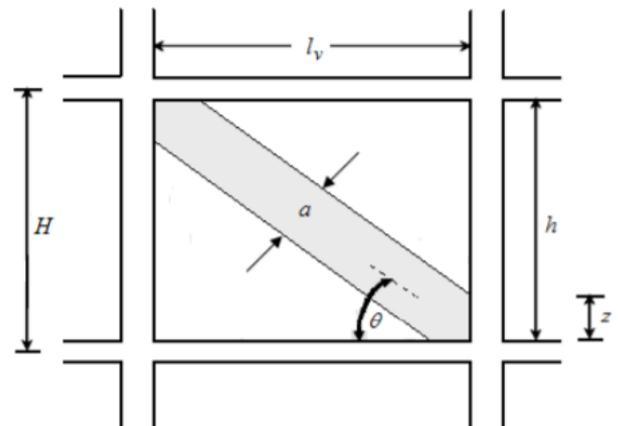


Ilustración 32, Modelo puntal axial (FEMA-356,2000)

λ = Factor de rigidez equivalente

E_{me} = Modulo elástico de la losa

t =Espesor del muro o losa

θ = Ángulo de inclinación del puntal

I_{col} = Inercia de la columna

h = Longitud de la columna

a = Ancho del puntal

L = Longitud del puntal

2.16.4 Curva de capacidad Corte-Deformación (ASCE 41)

Las propiedades del diafragma homologado como las de un muro de hormigón están dadas por la tabla 1. Como se observa, el acero es uniforme en toda la losa y la carga axial es baja, lo que se traduce en las siguientes propiedades obtenidas del manual ASCE 41-17 para el comportamiento de muros cortos (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, 2017) capítulo 10 página 251.

Conditions	Total Drift Ratio (%), or Chord Rotation (radians) ^a			Strength Ratio		Acceptable Total Drift (%) or Chord Rotation (radians) ^a		
	d	e	g	c	f	Performance Level		
						IO	LS	CP
i. Structural walls and wall segments ^b $\frac{(A_s - A'_s)f_y E + P}{I_w I_w f_{cE}} \leq 0.05$	1.0	2.0	0.4	0.20	0.6	0.40	1.5	2.0

Tabla 1, Curva de capacidad corte- deriva lateral Diafragma ASCE 41-17.

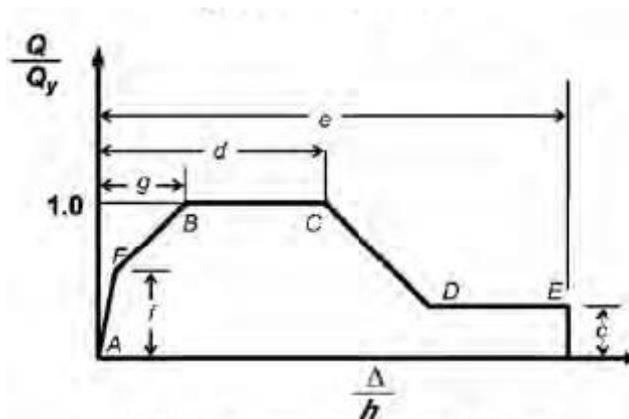


Ilustración 33, Curva de capacidad controlada por ductilidad, ASCE41-17

En la ilustración 33, la curva de capacidad del comportamiento del puntal axial tiene definidos los parámetros del rango plástico, en un formato diferente al requerido para modelar en SAP2000 al puntal axial. En el capítulo 3, se encontrará una equivalencia entre el formato de la curva de capacidad a corte-deriva lateral de un muro corto y la curva de capacidad Carga-deformación axial del puntal equivalente.

En la tabla número 1, se tienen los criterios de aceptabilidad, tales como ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención de colapso.

3 CAPÍTULO (Análisis de las estructuras)

Las hipótesis de los modelos de las estructuras son:

1. Los pórticos no tienen plasticidad, analizándose su comportamiento lineal elástico.
2. Las vigas son colectores del diafragma y son axialmente rígidas en la dirección a la carga aplicada.
3. No hay sección compuesta, debido que se asume que no existe anclaje suficiente entre la placa de acero y losa de hormigón, por lo tanto, no se tomará en cuenta la sección compuesta, la placa funcionará como encofrado.
4. La losa de hormigón se presentará en un estado inelástico en el cual se agrieta; pierde resistencia y puede asumir ciertas deformaciones; y, su modelamiento es no lineal.
5. No se analizará deformaciones fuera del plano de los diafragmas.
6. No se estudiarán conexiones con elementos híbridos, conexión viga secundaria de acero-viga principal compuesta de hormigón, etc.
7. Se analizará la falla de la placa en su plano como falla dúctil controlada por deformaciones cortantes.
8. La distribución de carga se asume y se aplica como función de masas tributarias correspondiente al comportamiento de un diafragma semi-flexible. Mediante la compatibilidad de deformaciones internas; del modelo, se obtendrá un resultado en el cual se determina la validez o no de la hipótesis.
9. Se considera que las indentaciones propias del "Steel Deck" no crean adherencia con el hormigón de losa (5cm).

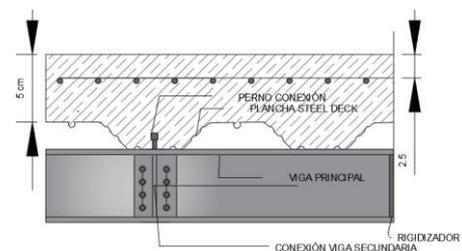
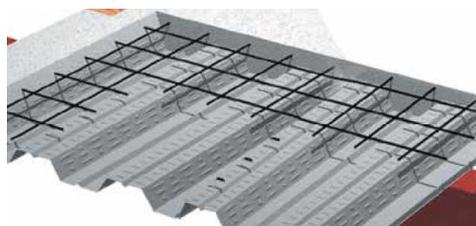


Ilustración 34, Vista en 3d, sección STEEL DECK. (Novalosa)

Materiales:

$$\text{Resistencia a tensión del acero (A36)} = 2.520 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia última a tensión del acero } F_u(\text{A36}) = 3.920 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Módulo de elasticidad } E \text{ (acero)} = 2,039 * E6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia a la compresión de hormigón (f'c)} = 280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Módulo de elasticidad } E \text{ (hormigón)} = 252.672 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

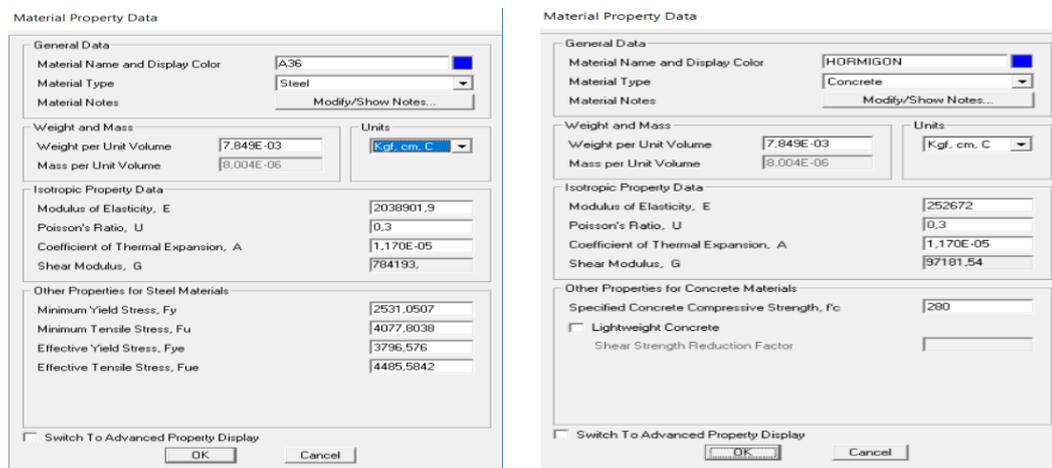


Ilustración 35, Propiedades del Acero A36, y hormigón de 280kg/(cm²), SAP2000

Estructura:

Para cumplir con el objetivo y alcance del estudio se analizarán dos estructuras irregulares:

- 1) Estructura de 2 Plantas.
- 2) Estructura de 10 Plantas.

Los modelos de las dos estructuras constan de las mismas dimensiones geométricas en planta y alzado, pero con diferente número pisos. El edificio con 10 pisos se denominará "edificio A", mientras que el edificio con 2 Pisos se denominará "edificio B".

Se decidió modelar dos edificios, con diferentes números de pisos, para cubrir un rango amplio de estructuras; y, así poder comparar la rigidez al corte del diafragma entre dos estructuras de diferentes alturas con la misma geometría en planta, alzado y baja redundancia (ejes de columnas).

El diseño de la superestructura para las dos edificaciones es el mismo por simplicidad, y porque se busca evaluar la respuesta del diafragma, los pórticos no tienen plasticidad, analizándose su comportamiento lineal elástico. Por tratarse de estructuras de baja redundancia, con solo 6 columnas, se adopta el valor de $R=3$ para el cálculo de las fuerzas sísmicas.

Las estructuras no son simétricas, tienen irregularidad en planta; caracterizada por la presencia de un volado que genera torsión excesiva. Las estructuras son regulares en elevación.

Como sistema de losa se adopta el sistema Steel-Deck con placa de acero No-Colaborante. La losa de hormigón de 5 cm sobre la cresta de la placa de acero (la que funciona solo como encofrado), se modela mediante elementos tipo puntal axial.

3.1 Metodología de análisis y diseño de las estructuras

3.1.1 Caracterización estructural del edificio "A"

La edificación a modelar, consiste de diez pisos, una altura de entrepiso de 3 metros, con un total de 30 metros de altura hasta el nivel de la cubierta. Tiene 1 luz de 8 metros entre columnas terminando con un volado de 4 metros de longitud en los ejes de la dirección "X". Tiene 2 luces de 8 metros entre columnas en los ejes de la dirección "Y".

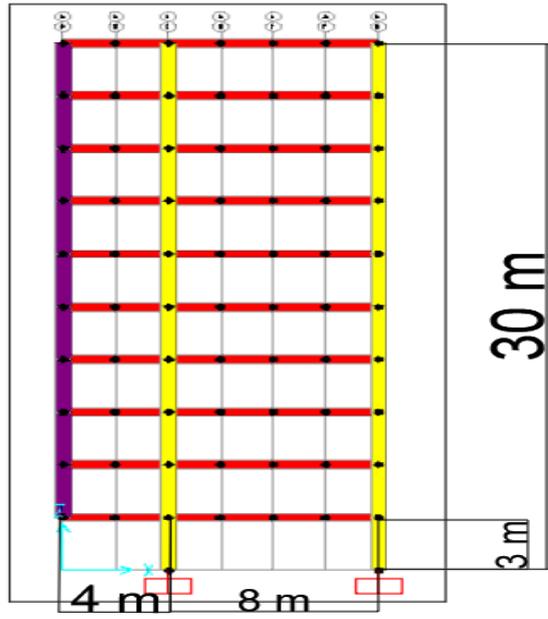


Ilustración 36, Alzado de la estructura "A"

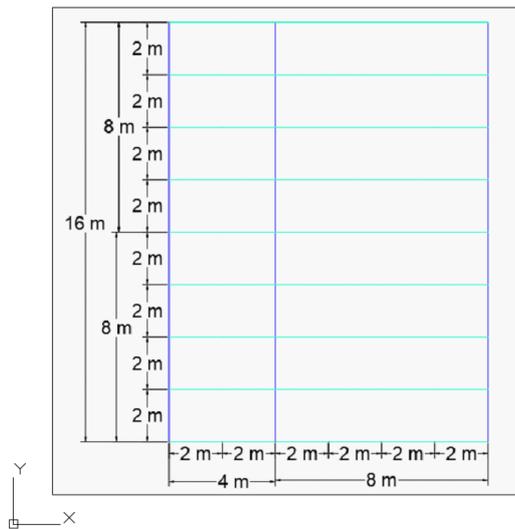


Ilustración 37, Configuración en planta de la estructura "A"

El dimensionamiento que se dio a las columnas es el siguiente:

COLUMNAS DE TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO												
SECCION (cm*cm)		PLANTA										
	ESPESOR	PB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUBIERTA
70*70	1 cm								X	X	X	-
70*70	2 cm	X	X	X	X	X	X	X				-

Tabla 2, Dimensiones de las columnas del edificio A

Las columnas tienen placas rigidizadoras internas para prevención de pandeo local, tal como se muestra en la ilustración 40.

El dimensionamiento que se dio a las vigas en la dirección “Y” del edificio “A” es el siguiente:

VIGAS PRINCIPALES SECCION W ESTRUCTURAL												
SECCION (in)		PLANTA										
	W	PB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUBIERTA
18*76		-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 3, Dimensiones de las vigas en la dirección Y del edificio A

El dimensionamiento que se dio a las vigas en la dirección “X” es el siguiente:

VIGAS SECCION W ESTRUCTURAL												
SECCION (in)		PLANTA										
	W	PB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUBIERTA
18*60		-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 4, Dimensiones de las vigas en la dirección “X”

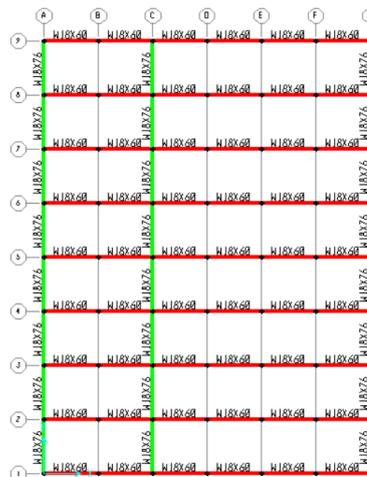


Ilustración 38, Dimensiones de vigas del edificio A en planta.

Finalmente, la estructura del edificio A se muestra en la ilustración 39:

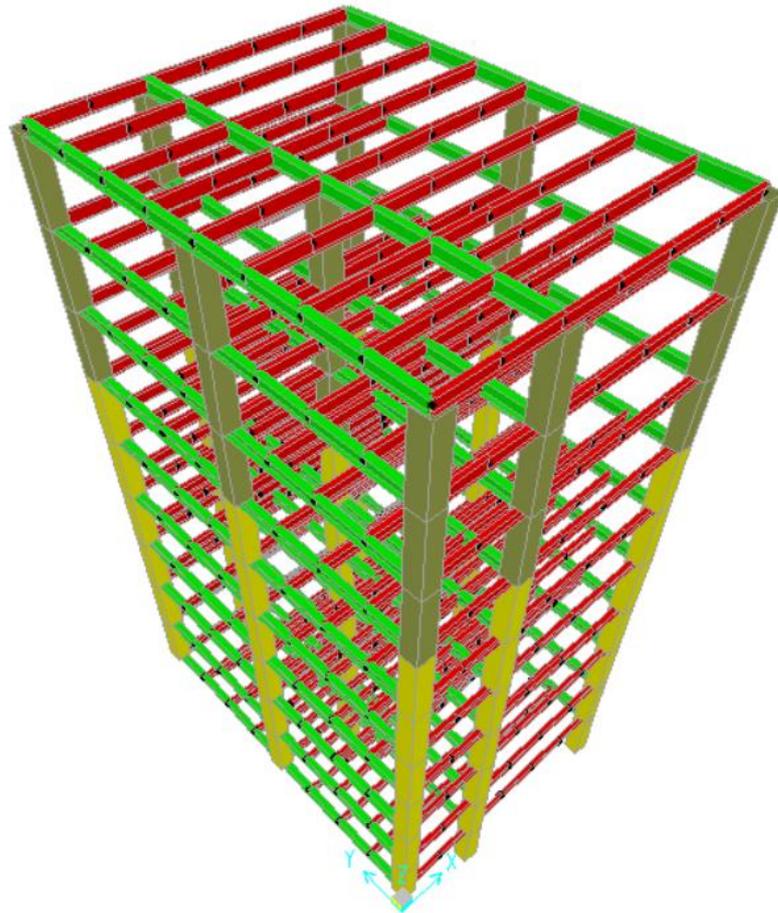


Ilustración 39, Modelo estructura A.

3.1.2 Caracterización estructural del edificio “B”

La edificación a modelar, consiste de dos pisos, una altura de entrepiso de 3 metros, con un total de 6 metros de altura hasta el nivel de la cubierta. Tiene 1 luz de 8 metros entre columnas terminando con un volado de 4 metros de longitud en los ejes “X”. Tiene 2 luces de 8 metros entre columnas en los ejes de la dirección “Y”.

Se dimensionó columnas de sección, cuadrada de tubos estructurales de 50*50*1 cm; tal como muestra en la ilustración 40.

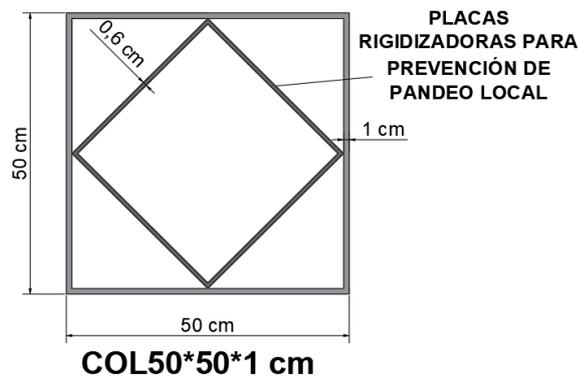


Ilustración 40, Dimensiones de las columnas del edificio B

El dimensionamiento que se dió a las vigas en la dirección "Y" del edificio "B" es el siguiente:

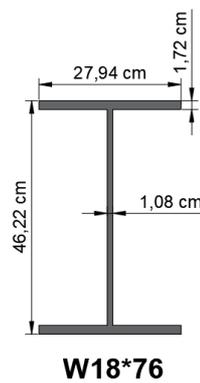


Ilustración 41, Vigas en la dirección "Y" de sección W18*76

El dimensionamiento que se dió a las vigas en la dirección "X" es el siguiente:

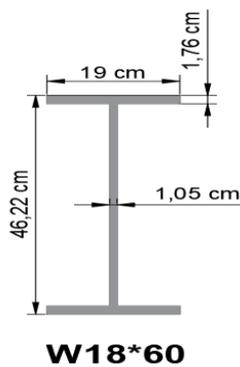


Ilustración 42, Vigas en la dirección "X" de sección W18*60

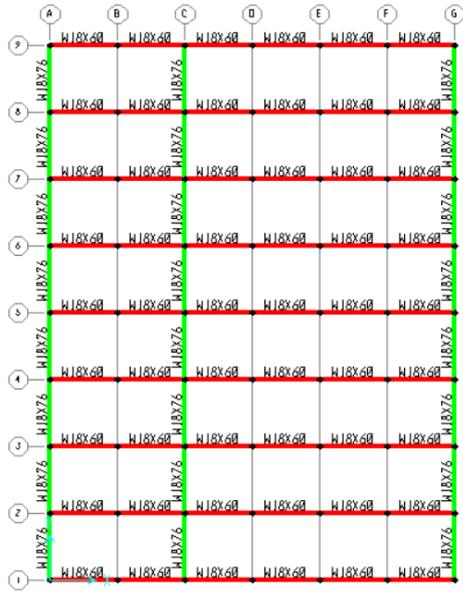


Ilustración 43, Dimensiones de vigas, vista en planta de la estructura “B”

Finalmente, la estructura del edificio B se muestra en la ilustración 44.

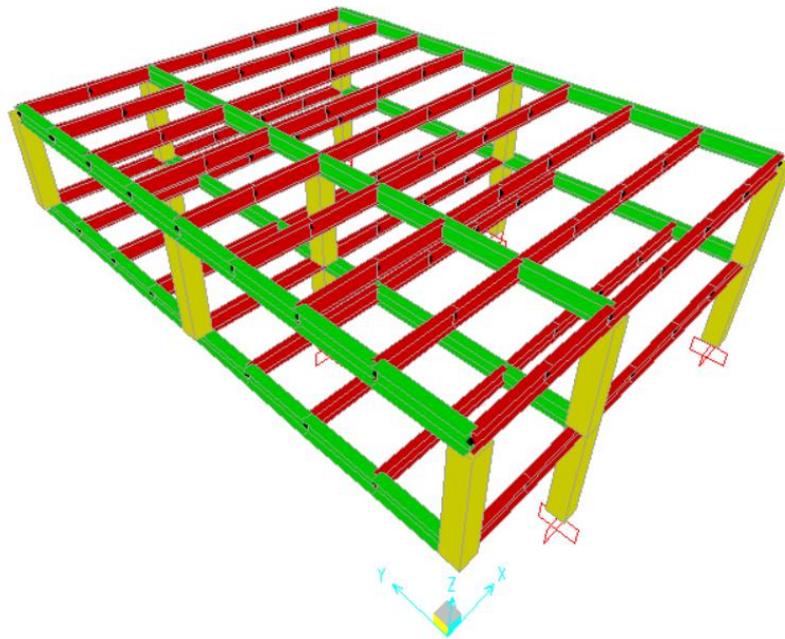


Ilustración 44, Modelo estructura B.

3.2 Documentos de Referencia y Normas de Diseño de la Super-estructura

NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción)

ACI 318-14 "Building Code Requirements for Structural Concrete"

AISC 360 " American Institute of Steel Construction"

3.3 Cargas Gravitacionales

Las siguientes cargas gravitacionales se utilizaron en el diseño y análisis de los edificios A y B (NEC-15).

3.3.1 Carga muerta "D"

Se tiene dos tipos de cargas muertas:

- 1) La carga muerta sobre-impuesta, que proviene de los siguientes elementos: Pesos de la losa "Steel Deck", paredes, tumbado, instalaciones, recubrimiento de piso. Esta carga actúa como peso uniforme (kg/m^2) en el plano de las losas.

a) Carga sobre-impuesta sobre Piso tipo (todos los pisos excepto la cubierta):

Peso de la losa "Steel Deck" =	130,7 kg/m^2
Recubrimiento piso =	100 kg/m^2
Tumbado =	40 kg/m^2
Paredes =	120 kg/m^2
Instalaciones =	40 kg/m^2
Total, Carga Muerta	
sobre-impuesta de Piso tipo=	430,7 kg/m^2

b) Carga sobre-impuesta sobre cubierta tipo:

Peso de la losa "Steel Deck" =	130,7 kg/m ²
Instalaciones =	40 kg/m ²
Tumbado =	40 kg/m ²
Total, Carga Muerta	
sobre-impuesta de Cubierta =	210,7 kg/m²

La carga muerta sobre-impuesta para pisos tipo y cubierta es la misma para los edificios "A" y "B".

- 2) La carga muerta del peso propio de las vigas y las columnas, las que no necesitan ser modeladas como cargas sobre-impuestas sobre las vigas porque se calculan internamente en SAP2000, a partir de los datos geométricos de los perfiles de acero que componen la estructura aporticada.

Se han calculado los siguientes pesos propios para Vigas y Columnas:

$$\text{Edificio "A"} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Edificio "B"} = 85 \text{ kg/m}^2$$

Finalmente, la carga Muerta total de los Edificios es:

$$\text{Edificio "A"} = \text{WD} = 430,7 + 120 = 551 \text{ kg/m}^2 \text{ (Pisos)}$$

$$\text{WD} = 210,7 + 120 = 331 \text{ kg/m}^2 \text{ (Cubierta)}$$

$$\text{Edificio "B"} = \text{WD} = 430,7 + 85 = 516 \text{ kg/m}^2 \text{ (Pisos)}$$

$$\text{WD} = 210,7 + 85 = 296 \text{ kg/m}^2 \text{ (Cubierta)}$$

3.3.2 Carga viva “L”

Carga Viva (L), depende del uso u ocupación de cada piso, Se usan las especificaciones de NEC15 para las cargas vivas.

Pisos de Oficinas= 200 kg/ m^2

Carga viva de cubierta= 70 kg/ m^2

3.3.3 Distribución de Cargas Gravitacionales Sobre-impuestas

Para distribuir las cargas muertas y vivas sobre-impuesta sobre las vigas, se usan las áreas de influencia de la ilustración 45. La carga muerta sobre-impuesta y la carga viva (kg/ m^2) se transforma en carga distribuida (kg/m).

Las cargas en kg/m se ingresan en SAP2000 como carga linealmente uniforme sobre las vigas.

La carga uniforme linealmente distribuida sobre cada viga se obtiene a partir de multiplicar el área tributaria perteneciente a cada viga, por las cargas muertas y vivas (kg/ m^2) sobreimpuestas y luego dividirla para la longitud de la viga, dando como resultado una carga distribuida (kg/m) a lo largo de la viga. Las cargas muertas (D) y vivas (L) sobre las vigas se calculan por separado y se generan dos estados de carga independientes.

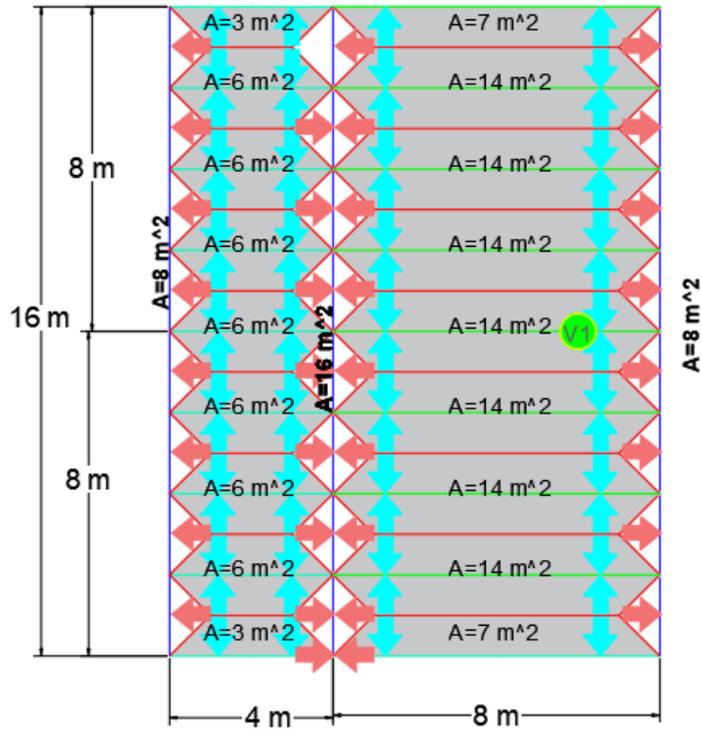


Ilustración 45, Áreas tributarias de losa sobre vigas

3.3.4 Cargas Gravitacionales totales de los edificios “A” y “B”

Se presenta a continuación en las tablas 5 y 6 las cargas muertas D y vivas L totales calculadas para los edificios “A” y “B”. Para calcular dichas cargas, se multiplican las cargas (kg/m^2) de la sección 3.3.3 por el área $16 \times 12 = 192 \text{ m}^2$ de las plantas de los edificios.

Edificio "A"		
	Peso	Unidad
Carga muerta sobre-impuesta plantas tipo (n=9)	744,25	Ton
Carga muerta sobre-impuesta de cubierta	40,45	Ton
Carga muerta peso propio de la Estructura	244,86	Ton
Carga muerta Total (D)	1029,56	Ton
Carga viva de plantas tipo (n=9)	345,6	Ton
Carga viva de cubierta	13,44	Ton
Carga viva Total (L)	359,04	Ton

Tabla 5, Carga gravitacional total del edificio "A"

Edificio "B"		
	Peso	Unidad
Carga muerta sobre-impuesta de planta tipo (n=1)	82,69	Ton
Carga muerta sobre-impuesta de cubierta	40,45	Ton
Carga muerta peso propio de la Estructura	32,89	Ton
Carga muerta total (D)	156,03	Ton
Carga viva de planta tipo (n=1)	38,4	Ton
Carga viva de cubierta	13,44	Ton
Carga viva total (L)	51,84	Ton

Tabla 6, Carga gravitacional total del edificio "B"

3.4 Cargas Sísmicas

Las cargas de sismo son producto de movimientos sísmicos que se manifiestan en las estructuras, estas dependen de la zona en donde se encuentra ubicada la edificación; también depende de la distribución estructural y ocupación del edificio. Para la carga del cortante sísmico se obtiene a partir de considerar el 100% de la carga muerta gravitacional D más el 25% de la carga viva gravitacional L.

Siendo $W = D + 0.25L$

Edificio "A" → $W = (1029,56) + (0,25 \cdot 359,04) = 1119,32 \text{ Ton}$

Edificio "B" → $W = (156,03) + (0,25 \cdot 51,84) = 168,99 \text{ Ton}$

3.4.1 El Cortante Basal Estático (NEC-15)

Se calcula a continuación el cortante basal usando el método de cargas estáticas equivalentes descrito por NEC-15 para el suelo tipo D de la ciudad de Guayaquil.

La ciudad de Guayaquil corresponde a la zona sísmica V en el mapa para zonificación sísmica NEC-15, la cual tiene un valor de factor **Z= 0.4** y es considerada una zona de alta amenaza sísmica.

Se usan los valores de Fa, Fd y Fs correspondientes a la zona sísmica V y tipo de perfil de suelo "D", cuales son: **Fa=1.2, Fd=1.19, Fs=1.28.**

Se utilizó el valor de **r=1** para este tipo de suelo y el valor de **n=1.8.**

Con F_a , F_d y F_s , se calcula, **$T_o = 0,13$ s y $T_c = 0,69$ s.**

Se consideró que los edificios “A” y “B” son edificios poco redundantes y se usa el factor de reducción de respuesta estructural **$R=3$** (NEC-2015), correspondiente a estructuras con ductilidad limitada.

Se adopta el factor de importancia **$I=1$** para los edificios A y B.

Las estructuras A y B son irregulares en planta, por la torsión excesiva originada en la excentricidad del volado, siendo **$\phi_p = 0,9$** . La estructura es regular en elevación, por lo tanto **$\phi_e = 1$** .

3.4.2 Cortante basal para el Edificio “A”

El periodo fundamental de la estructura del edificio A se calcula a continuación con el procedimiento descrito en NEC-15:

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Siendo:

$$C_t = \text{coeficiente que depende del tipo de edificio} = 0.055$$

$$h_n^\alpha = \text{altura max de n pisos} = 3m * 10\text{plantas} = 30m$$

$$\alpha = \text{exponente} = 0.9$$

$$T = 0.055 * 30^{0.9} = 1.1743 \text{ segundos}$$

La aceleración espectral de diseño correspondiente a T es:

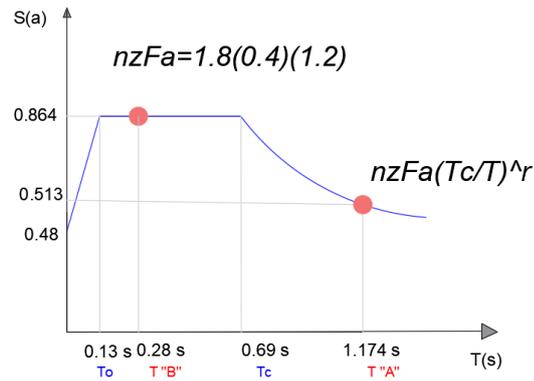


Ilustración 46, Espectro elástico Edificios “A” y “B”

$$S_a = n * z * F_a * \left(\frac{T_c}{T}\right)^r = 1.8 * 0.4 * 1.2 * \left(\frac{0.698}{1.174}\right)^1 = 0.51 \text{ Seg}$$

Aceleración Espectral de Diseño:

$$S_a = 0,513$$

El cortante basal de la Estructura A es:

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_p \phi_E} W$$

Con $W = 1119,32 \text{ Ton}$

$$V = \frac{1 * 0.514}{3 * 0.9 * 1} * W$$

$$V = 0,19 * (1119,32 \text{ Ton}) = 212,671 \text{ Ton}$$

3.4.3 Cortante basal para el Edificio “B”

$$T = 0.055 * 6^{0.9} = 0.2758 \text{ segundos}$$

$$S_a = n * z * F_a = 1.8 * 0.4 * 1.2 = 0.864$$

Aceleración Espectral de Diseño:

$$S_a = 0,864$$

El cortante basal de la Estructura B es:

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_p \phi_E} W$$

$$V = \frac{1 * 0.864}{3 * 0.9 * 1} * W$$

Con $W = 168,99$ Ton

$$V = 0,32 * (168,99 \text{ Ton}) = 54,08 \text{ Ton}$$

3.4.4 Distribución de las Cargas sísmica aplicadas en el centro de masas de los edificios A y B modelados con diafragmas rígidos

Las cargas horizontales F_y , son las fuerzas de inercia aplicadas en cada piso de las estructuras, y se calculan con la siguiente ecuación. A partir del valor del cortante basal de cada edificio, se procede a calcular la distribución de las fuerzas horizontales equivalentes sobre cada nivel de cada edificio.

$$F_y = C_{vs} * V$$

C_{vs} : es un coeficiente de repartición de la fuerza sísmica sobre cada piso del edificio.

V : cortante basal en la dirección Y de análisis.

Para el cálculo del coeficiente de fuerza de piso C_{vs} se usa la siguiente formula:

$$C_{vs} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

Edificio "A"

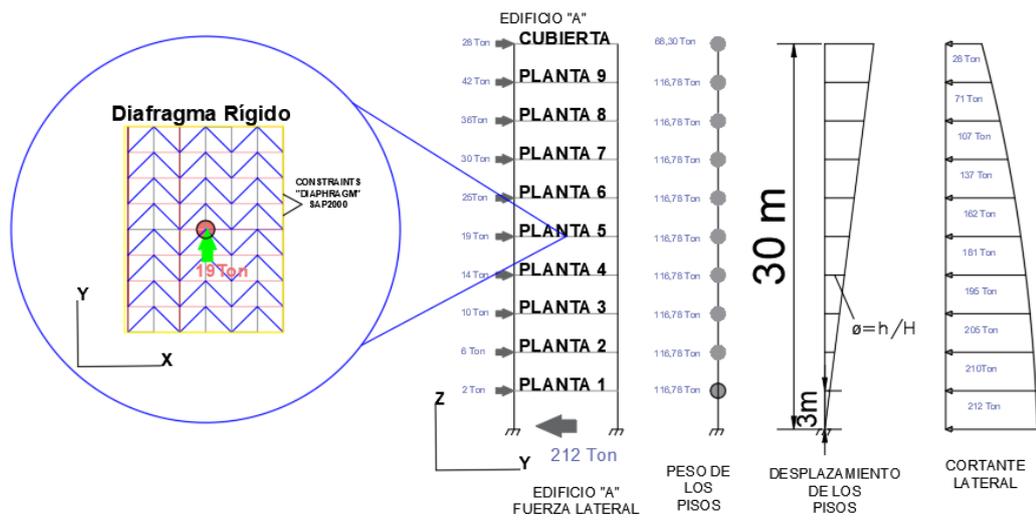


Ilustración 47, Distribución de carga sísmica y corte sísmico sobre pisos con diafragmas rígidos

Donde k está relacionado con $T(\text{periodo}) = 1,174\text{s}$:

Para T entre 0.5 y 2.5 segundos: $K = 0.75 + 0.5T = 1,337$

$V(\text{Ton}) = 212,7$
 $K = 1,337$

Numero de Piso	h(m)	Wi(Ton)	Wi*hi^k	Cvs	F(Ton)	V(Ton)
10	30	68,30	6446,65	0,13	28	28
9	27	116,78	9574,19	0,20	42	71
8	24	116,78	8179,20	0,17	36	107
7	21	116,78	6841,88	0,14	30	137
6	18	116,78	5567,60	0,12	25	162
5	15	116,78	4363,17	0,09	19	181
4	12	116,78	3237,68	0,07	14	195
3	9	116,78	2203,89	0,05	10	205
2	6	116,78	1281,61	0,03	6	210
1	3	116,78	507,32	0,01	2	213
SUMA=		1119,32	48203,20	1,00	212,7	

Tabla 7, Resultado de las fuerzas horizontales y cortante de piso edificio A

Edificio "B"

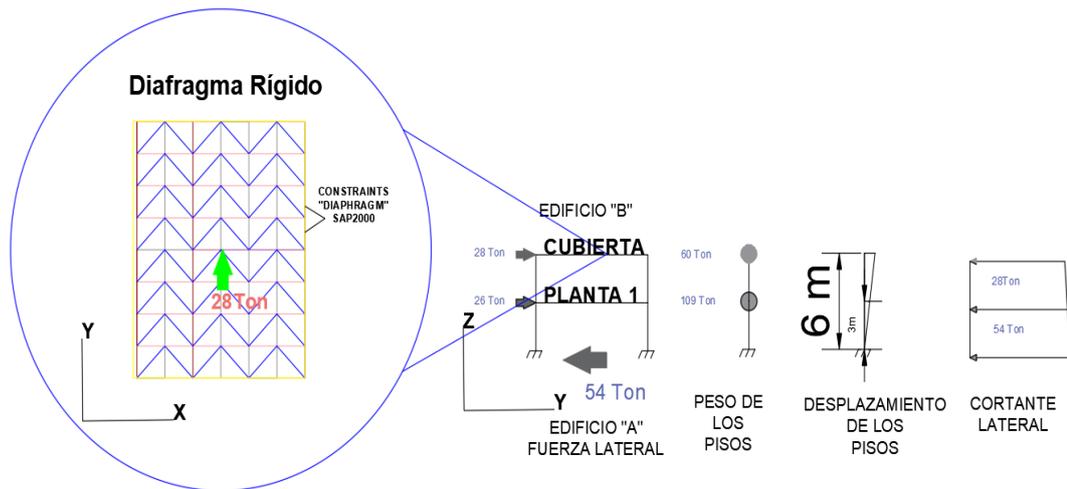


Ilustración 48, Distribución de carga sísmica y corte sísmico sobre pisos con diafragmas rígidos

Donde k está relacionado con $T(\text{periodo}) = 0,28\text{s}$:

Para T menor o igual a 0,5 segundos: $K=1$

Numero de Piso	$h(\text{m})$	$W_i(\text{Ton})$	$W_i \cdot h_i^k$	C_{vs}	$F(\text{Ton})$	$V(\text{Ton})$
2	6	60	360,00	0,52	28	28
1	3	109	327,00	0,48	26	54
SUMA=		169,00	687,00	1,00	54,0	

Tabla 8, Resultado de las fuerzas horizontales y corte de piso edificio B

3.4.5 Distribución de las Cargas sísmica aplicada sobre cada pórtico como función de las masas tributarias sobre cada pórtico.

Este método es propuesto en este Trabajo de Grado principalmente para obtener la distribución del cortante interno de piso en estructuras con diafragmas semiflexibles y complementariamente para demostrar que la distribución del corte interno de piso en estructuras con diafragmas rígidos no es muy sensible a la forma como se aplican las cargas F_y externamente sobre los pórticos.

En diafragmas semi-flexibles, la distribución de carga lateral se realiza usando las masas tributarias de cada pódico, tal como se visualiza en la ilustración 20; Para el edificio A, el cortante de cada pódico obtenido como función de masas tributarias y mostrado en la ilustración 49, se distribuye en elevación sobre cada piso dando como resultado los valores mostrados en la misma ilustración 49 y en la tabla 9.

Edificio "A"

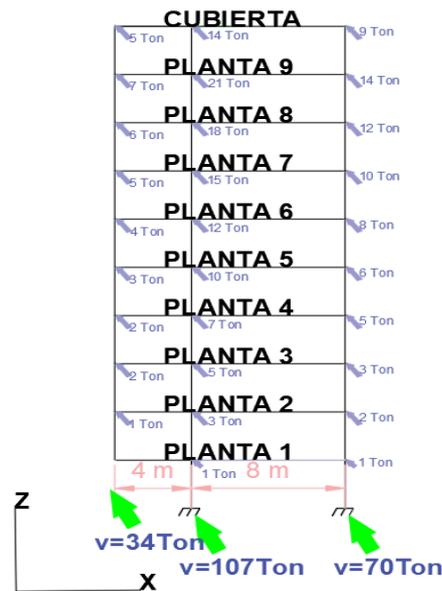


Ilustración 49, Distribución de carga lateral función de masas tributarias

La estructura tiene tres pódicos: Y3, Y2, Y1. A continuación se explica con un ejemplo, la distribución de la carga sísmica del piso 5 sobre los pódicos:

Al pódico Y3 le corresponde el 16% de la masa tributaria, lo que implica multiplicar la fuerza sísmica del piso igual a 19 Ton (tabla 7) por el porcentaje de distribución del corte basal que le corresponde al pódico Y3; siendo $F3 = (19 \text{ Ton} \cdot 0,16) = 3 \text{ Ton}$. Al pódico Y2 le corresponde el 50% de la masa tributaria, lo que implica multiplicar la fuerza sísmica del piso 5 por el porcentaje de distribución de corte basal que le corresponde $F5 = (19 \text{ Ton} \cdot 0,5) = 10 \text{ Ton}$. Finalmente, al pódico Y1, le corresponde el 33% de la masa tributaria, luego $F5 = (19 \text{ Ton} \cdot 0,33) = 6 \text{ Ton}$.

En el primer piso la aplicación de carga lateral se realiza solamente entre los pórticos Y2 y Y1; a Y2 le corresponde el 66% y al pórtico Y1 le corresponde el 33% como se muestra en la tabla 9.

Número de Piso	F(Ton) V(Ton)		Distribución de porcentajes en función a la masa tributaria que le corresponde a cada pórtico			Distribución de cargas sísmicas sobre pórticos en la dirección Y			Cortantes sobre-pórticos en la dirección Y		
	F(Ton)	V(Ton)	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1
10	28	28	16%	50%	33%	5	14	9	5	14	9
9	42	71	16%	50%	33%	7	21	14	11	35	23
8	36	107	16%	50%	33%	6	18	12	17	53	35
7	30	137	16%	50%	33%	5	15	10	22	68	45
6	25	162	16%	50%	33%	4	12	8	26	81	53
5	19	181	16%	50%	33%	3	10	6	29	90	60
4	14	195	16%	50%	33%	2	7	5	31	98	64
3	10	205	16%	50%	33%	2	5	3	33	102	68
2	6	210	16%	50%	33%	1	3	2	34	105	69
1	2	213		66%	33%		1	1		141	70
212,7						34	107	70			

Tabla 9, Distribución de carga lateral en función de masas tributarias en cada pórtico en la dirección Y

En la tabla 10 se presenta el patrón de cargas laterales que se usará en el capítulo 4 para los análisis Pushover usando SAP2000.

El patrón de carga modela la deformación lateral del primer modo y es igual al 10 % del sistema de cargas equivalentes de la tabla 9.

Número de Piso	Distribución de cargas sísmicas sobre pórticos en la dirección Y			Cargas iniciales para el análisis Pushover 10%de cargas laterales		
	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1
10	5	14	9	0,5	1,4	0,9
9	7	21	14	0,7	2,1	1,4
8	6	18	12	0,6	1,8	1,2
7	5	15	10	0,5	1,5	1,0
6	4	12	8	0,4	1,2	0,8
5	3	10	6	0,3	1,0	0,6
4	2	7	5	0,2	0,7	0,5
3	2	5	3	0,2	0,5	0,3
2	1	3	2	0,1	0,3	0,2
1		1	1	0,0	0,1	0,1
34				107	70	

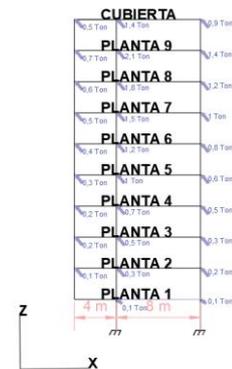


Tabla 10, Patrón de carga lateral del edificio "A", para el análisis Pushover usando SAP2000

Edificio "B"

La ilustración 50 muestra la distribución de carga lateral del modelamiento de diafragmas semi-flexibles del Edificio B.

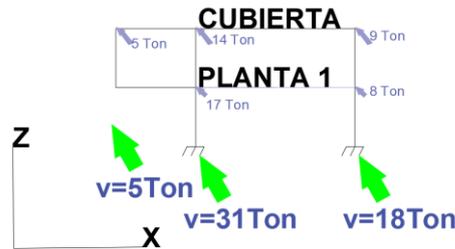


Ilustración 50, Distribución de carga lateral función de masas tributarias edificio B

En la tabla 11 se presenta la distribución de cargas sísmicas sobre los pórticos calculada como función de las masas tributarias. El cortante de cada pórtico se calcula según las áreas de influencia de la ilustración 20 y se distribuye en elevación sobre cada piso.

Número de Piso	Distribución de porcentajes en función a la masa tributaria que le corresponde a cada pórtico			Distribución de cargas sísmicas sobre pórticos en la dirección Y			Cortantes sobre-pórticos en la dirección Y				
	F(Ton)	V(Ton)	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1
2	28	28	16%	50%	33%	5	14	9	5	14	9
1	26	54		66%	33%		17	8		36	18
	54,0					5	31	18			

Tabla 11, Distribución de carga lateral en función de masas tributarias en cada pórtico en la dirección Y

En la tabla 12 se presenta el patrón de cargas laterales que se usará en el capítulo 4 para los análisis Pushover usando SAP2000.

El patrón de carga modela la deformación lateral del primer modo y es igual al 10 % del sistema de cargas equivalentes de la tabla 11.

Número de Piso	Distribución de cargas sísmicas sobre pórticos en la dirección Y			Cargas iniciales para el análisis Pushover 10%de cargas laterales		
	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1
2	5	14	9	0,5	1,4	0,9
1		17	8	0,0	1,7	0,8
	5	31	18			

Tabla 12, Patrón de carga lateral del edificio "B", para análisis Pushover usando SAP2000

3.5 Diseño de la estructura aporticada de los Edificios A y B

Para el diseño de las secciones de vigas y columnas de la estructura aporticada, se usa el método de cargas estáticas equivalentes y la comprobación de derivas y esfuerzos dentro del rango elástico para el sismo de servicio definido por el cortante basal V .

Para el edificio "B" se usó un cortante basal de $V= 54,08$ Ton y para el edificio A un cortante basal de $V= 212,7$ Ton. Se diseñan las vigas y columnas bajo las combinaciones de carga de norma siguiente:

1.2D +1.6 L

1.2D +1L +1E

1.2D+ 1L – 1 E

Se calculan valores de deriva de piso mediante SAP2000 cumpliendo con el establecido NEC para derivas admisibles.

Tanto para el diseño de las vigas y columnas de los edificios A y B, como para el cálculo de los cortantes de piso distribuidas horizontalmente sobre cada pórtico y piso en la dirección de análisis; se usan las cargas sísmicas de las estructuras de los edificios "A" y "B" descritas en las tablas 7 y 8. En SAP2000 se definen para todos los nodos del diafragma la opción "constraints diaphragm" para generar un comportamiento de cuerpo rígido (ilustración 51). Todos los nodos de cada piso tendrán desplazamientos compatibles como un diafragma rígido. Los dos modelos son cargados lateralmente con el sistema de cargas estáticas equivalentes, el cortante basal V calculado en la dirección Y , objeto de estudio.

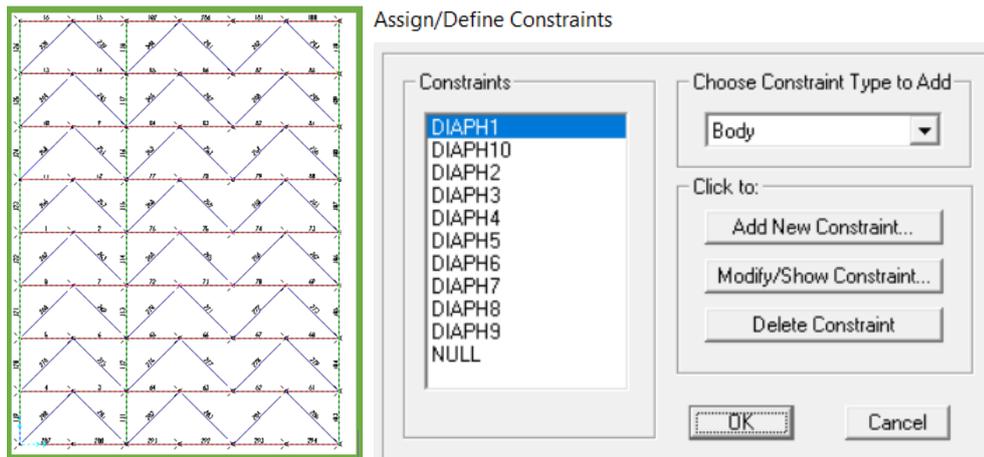


Ilustración 51, Vinculo de desplazamiento en todos los nodos del diafragma para comportamiento de diafragma rígido.

3.5.1 Verificación de derivas admisibles

La deriva de piso se define como el desplazamiento lateral relativo que existe entre dos niveles o pisos consecutivos al aplicar fuerzas sísmicas.

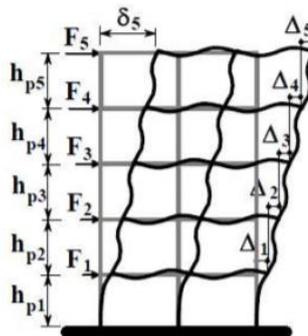


Ilustración 52, Verificación derivas NEC-15

Para calcular las derivas se calcula la diferencia entre los desplazamientos del piso (i) y del nivel (i-1).

La deriva se calcula también en porcentaje como la distorsión angular del piso, usando la siguiente ecuación:

$$\Delta i (\%) = \frac{\delta i - \delta(i - 1)}{h_{pi}}$$

La norma NEC-15 requiere que los desplazamientos horizontales de cada nivel de la estructura correspondientes al sismo de diseño sean controlados con el fin de evitar daños considerables en los elementos estructurales, debiendo ser la deriva máxima menor a 2% de la altura de piso para estructuras de acero.

Chequeo de derivas en el edificio A:

Se realizó el chequeo de Derivas como indica la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC -15) para el caso de estructuras de pórticos de acero. A continuación, se presenta el resumen de las derivas de piso para las diferentes plantas del edificio A, tomadas como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las derivas en la dirección Y.

PISO	$\Delta i(\%)$	$\Delta_{\text{máx}} (\%)$	
1	0,51%	<2,00	OK
2	1,16%	<2,00	OK
3	1,43%	<2,00	OK
4	1,52%	<2,00	OK
5	1,51%	<2,00	OK
6	1,43%	<2,00	OK
7	1,32%	<2,00	OK
8	1,17%	<2,00	OK
9	0,93%	<2,00	OK
10	0,74%	<2,00	OK

Tabla 13, Resumen de derivas de pórticos para el edificio A modelado con diafragma rígido

El edificio A cumple con los requisitos de deriva máxima dispuestos por el NEC-15.

Chequeo de las derivas del edificio “B”:

El edificio B también cumple con el límite de deriva máxima especificado por NEC-15.

PISO	$\Delta i(\%)$		
1	0,40%	<2,00	OK
2	0,44%	<2,00	OK

Tabla 14, Resumen de derivas de pórticos para el edificio B modelado con diafragma rígido

3.5.2 Verificación de fuerzas internas en elementos críticos

Se realizó el chequeo de las fuerzas internas (P, V, M) máximas que actúan en las estructuras de los edificios A y B, mediante análisis lineal.

Se compara a continuación las resistencias requeridas calculadas con SAP2000 con las resistencias provistas por cada perfil diseñado.

Edificio A

En la tabla 15 y 16, se presentan las resistencias requeridas para las columnas del edificio A, y las resistencias provistas por cada perfil diseñado.

Columnas:

COLUMNA 70*70*2 cm				COLUMNA 70*70*1 cm			
	RESISTENCIA REQUERIDA	RESISTENCIA PROVISTA		RESISTENCIA REQUERIDA	RESISTENCIA PROVISTA		
P(Ton)	555	1139	OK	P(Ton)	50	560	OK
V(Ton)	119	382	OK	V(Ton)	44	191	OK
M(Ton*m)	166	311	OK	M(Ton*m)	47	102	OK

Tabla 15, Fuerzas internas actuantes, y resistentes en columnas del edificio A.

Los perfiles de columna diseñados en el edificio A, soportan las cargas actuantes.

Vigas:

VIGA W18*76				VIGA W18*60			
	RESISTENCIA REQUERIDA	RESISTENCIA PROVISTA		RESISTENCIA REQUERIDA	RESISTENCIA PROVISTA		
P(Ton)	0	283	OK	P(Ton)	0	217	OK
V(Ton)	32	110	OK	V(Ton)	20	46	OK
M(Ton*m)	45	77	OK	M(Ton*m)	40	60	OK

Tabla 16, Fuerzas internas actuantes, y resistentes en vigas del edificio A

Los perfiles de vigas diseñados en el edificio A, soportan las cargas actuantes.

Edificio B

En la tabla 17, se presentan las resistencias requeridas para las columnas del edificio B, y las resistencias provistas por cada perfil diseñado.

Columnas:

COLUMNA 50*50*1 cm		
	RESISTENCIA REQUERIDA	RESISTENCIA PROVISTA
P(Ton)	91	403
V(Ton)	31	51
M(Ton*m)	20	136

OK

OK

OK

Tabla 17, Fuerzas internas actuantes, y resistentes en columnas del edificio B.

Los perfiles diseñados para las columnas en el edificio B, soportan las cargas actuantes.

Las vigas diseñadas en el edificio B son los mismos perfiles del edificio A, lo que con una demanda de carga menor cumplen con la capacidad de diseño requerida.

3.6 Estructuras con diafragma rígido con cargas sísmicas sobre pórticos en función de sus masas tributarias.

El objetivo de este análisis es demostrar que la distribución del corte interno de piso en estructuras con diafragmas rígidos no es muy sensible a la forma como se aplican las cargas F_y externamente sobre los pórticos.

Edificio A:

Como se muestra en la ilustración 53, la carga sísmica se aplica como función de las masas tributarias sobre los pórticos, y los resultados obtenidos de cortantes de piso y pórtico se presentan en la tabla 18.

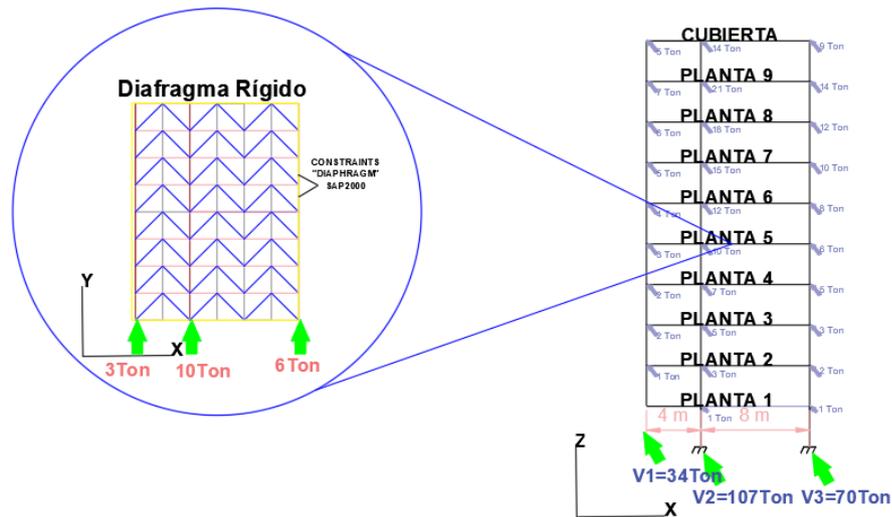


Ilustración 53, Distribución de carga sísmica función de masas tributarias en diafragma rígido, edificio A

Número de Piso	CORTANTE DIAFRAGMA RIGIDO CON CARGA APLICADA EN FUNCION A MASAS TRIBUTARIAS			CORTANTE DIAFRAGMA RIGIDO CON CARGA APLICADA EN EL CENTRO DE MASAS		
	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1
10	-1,91	11,51	18,39	-2	11,52	18,59
9	15,17	24,60	30,23	15	24,60	30,40
8	26,99	36,43	42,58	27	36,42	42,75
7	34,31	46,99	54,71	34	46,99	54,87
6	42,97	54,72	62,31	43	55,05	62,82
5	48,72	61,06	69,22	49	61,38	69,80
4	51,96	66,18	74,86	52	66,52	75,32
3	59,47	66,84	76,68	60	67,16	77,25
2	30,26	86,22	92,52	30	86,57	93,19
1		118,08	93,01		118,58	93,52

Tabla 18, Distribución cortante diafragma rígido edificio A

Edificio B:

Como se muestra en la ilustración 54, la carga sísmica se aplica como función de las masas tributarias, y los resultados obtenidos de cortantes de piso y pórtico se presentan en la tabla 19.

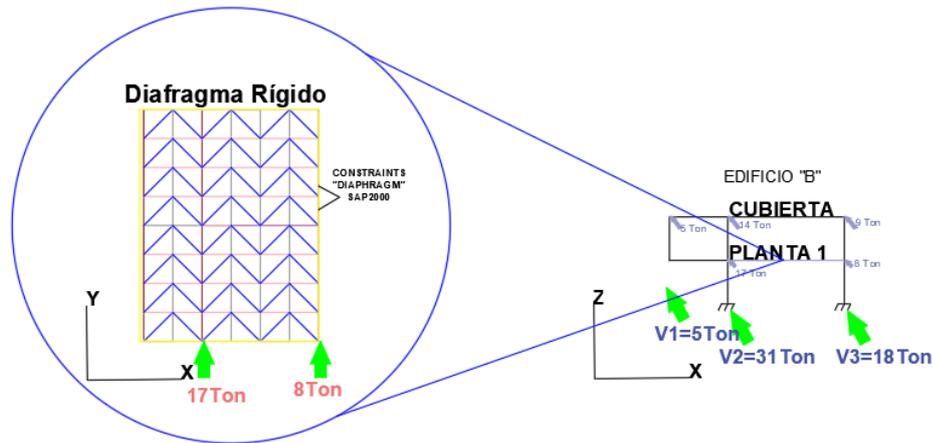


Ilustración 54, Distribución de carga sísmica función de masas tributarias en diafragma rígido, edificio B

Número de Piso	CORTANTE DIAFRAGMA RIGIDO CON CARGA APLICADA EN FUNCION A MASAS TRIBUTARIAS			CORTANTE DIAFRAGMA RIGIDO CON CARGA APLICADA EN EL CENTRO DE MASAS		
	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1
2	10,34	6,92	10,62	10,39	6,86	10,75
1		30,89	23,41		30,50	23,50

Tabla 19, Distribución cortante diafragma rígido edificio B

Se observa que las distribuciones de cortante sobre cada pórtico para los modelos con diafragma rígido son muy parecidas para ambos sistemas de cargas (cargas aplicadas sobre centros de masas y cargas aplicadas sobre los pórticos como función de sus masas tributarias); por lo tanto, se concluye que, en estructuras con diafragmas rígidos, el cortante de cada piso es independiente de la forma de aplicación de las cargas laterales.

3.7 Análisis Pushover SAP2000

Se consideran dos casos de carga: Estático (PGSN) y No lineal (PSN) SAP2000 calcula primero el caso de cargas permanentes PGSN y luego lo usa como condición de fuerzas y deformaciones iniciales del caso no-lineal Pushover PSN.

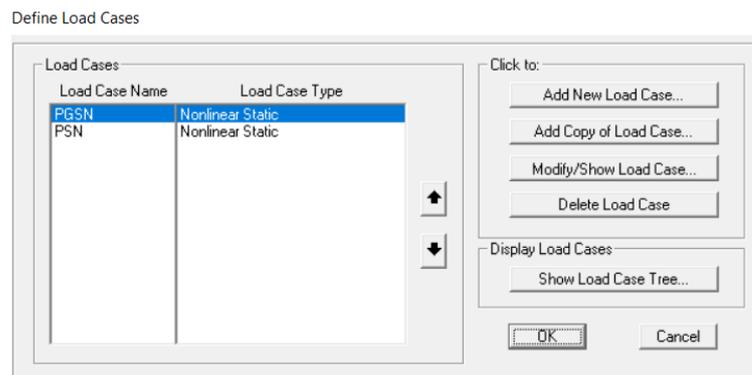


Ilustración 55, Estados de carga del análisis Pushover, SAP2000

3.7.1 Carga Gravitacional no lineal (FEMA 356, 2000)

Las cargas gravitacionales se combinan con las cargas sísmicas empleando la siguiente ecuación:

$$Q_G = 1.1(Q_{G+} + Q_L) \quad \text{Ec. Fema 356 capítulo 3 pág. 8}$$

	Factor de Carga
Q_D	1.1
$Q_L (1.1 \times 0.25)$	0.275

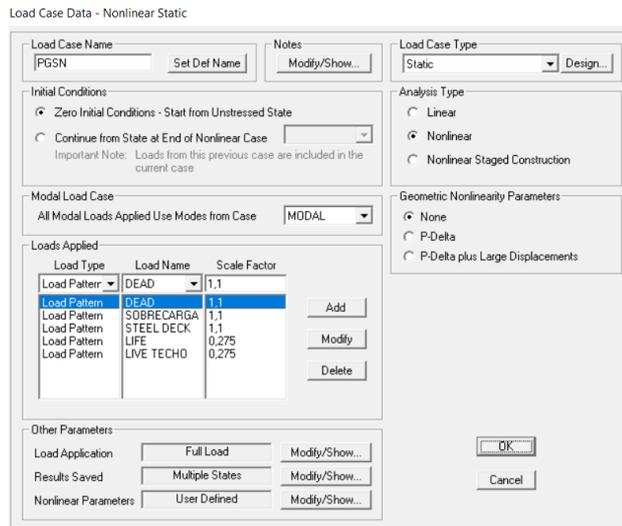


Ilustración 56, Combinación de cargas Permanentes, SAP2000

Los resultados de este análisis lineal elástico se asignan al estado de carga PGSN.

3.7.2 Análisis estático no lineal Pushover (PSN)

Para el análisis Pushover se usa como cargas iniciales, las calculadas en las tablas 11 y 12 como iguales al 10% del sistema de cargas laterales equivalentes correspondientes a la deformada del primer modo de vibración. Este criterio se adopta para hacer el análisis no lineal de carga estática incremental; iniciando desde un nivel de carga elástica suficientemente pequeña.

El método consiste en aplicar un patrón inicial de carga lateral a la estructura, la cual se incrementará monótonamente hasta que la estructura alcance el máximo desplazamiento. El cortante basal correspondiente a cada paso incremental de carga se reporta; así como también se registra el desplazamiento en el último piso de la estructura, en un nodo de control previamente seleccionado.

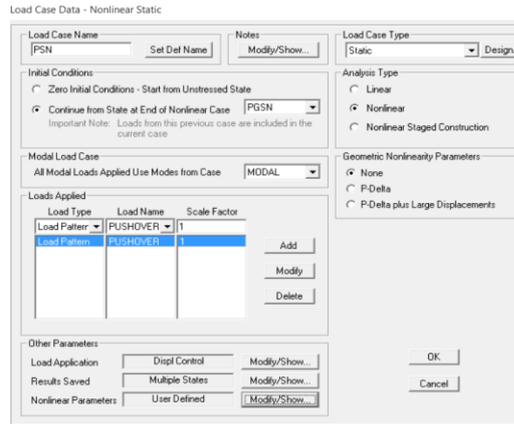


Ilustración 57, Análisis estático no lineal Pushover, SAP2000

El análisis Pushover sísmico a partir del estado de carga gravitacional (PGSN). Se controlan los desplazamientos de las estructuras con los siguientes nodos:

- Nodo 942 para el edificio A, con un valor máx de desplazamiento de 1.5m, en la dirección U2 es decir en la dirección Y.
- Nodo 234 para el edificio B, con un valor máx de desplazamiento de 0,8m, en la dirección U2 es decir en la dirección Y.

El nodo de control donde se controla el desplazamiento está en el centro geométrico del último piso del edificio y el desplazamiento ocurre en la dirección U2 (dirección Y del análisis).

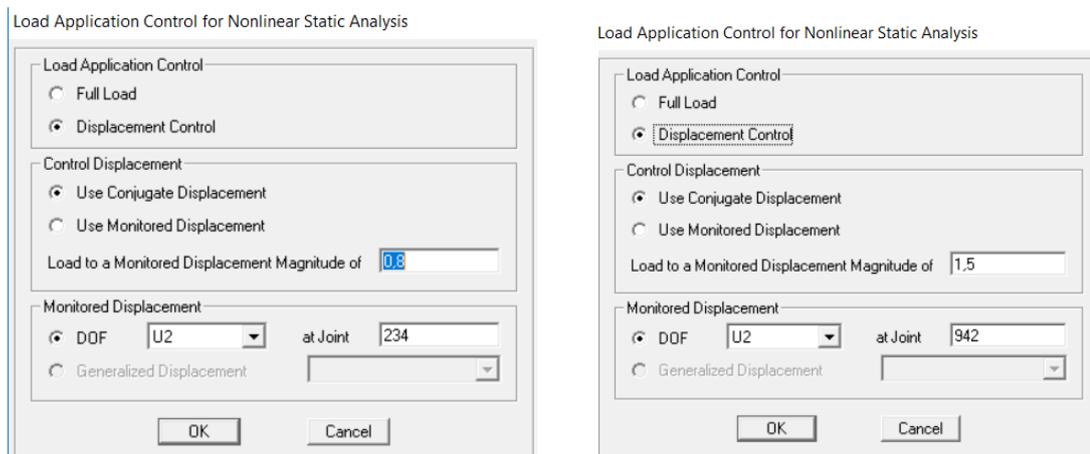


Ilustración 58, Nodos de control de desplazamiento edificio “B” y edificio “A” SAP2000.

Para un análisis más detallado, se considera un número de pasos de incremento de carga lo suficientemente grande (100) para el análisis de cada edificio (Ilustración 59).

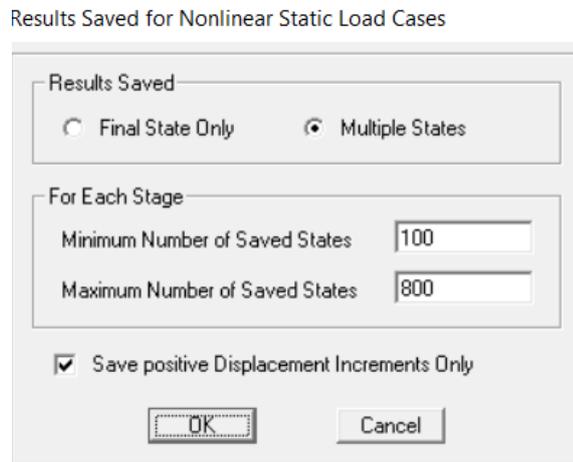


Ilustración 59, Datos de Análisis edificio “A” y “B”, SAP2000

Se configura la opción “Reiniciar con la rigidez secante de la estructura” en parámetros no lineales, y el resto de opciones se dejará por defecto.

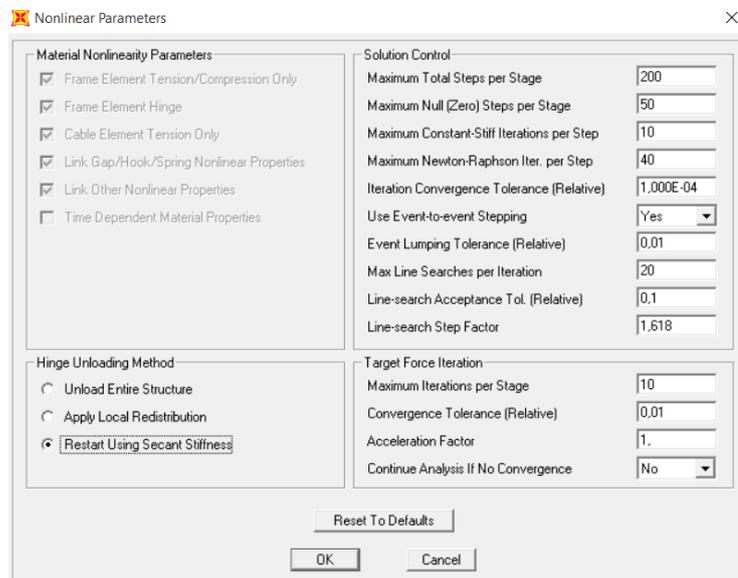


Ilustración 60, Propiedades de Pushover, SAP2000

3.8 Cálculo del puntal Axial Equivalente del diafragma de Losa

3.8.1 Geometría y propiedades de materiales

En la Tabla 20, se presenta a continuación las propiedades de los materiales del diafragma.

Propiedades materiales			
Acero (A615)		Hormigón (280 kg/(cm ²))	
E(T/(m ²))=Es	20'389.019	E(T/m2)=	2'534.563,6

Tabla 20, Propiedades del Diafragma entre vigas perimetrales

En la Tabla 21, se presenta los datos de la geometría de un paño de losa del diafragma.

Propiedades sección					
Viga(metro de largo)		viga(metro de altura)		losa (Espesor Diafragma)	
h(m)=	2	h(m)=	2	Espesor(m)=	0,05

Tabla 21, Geometría de un paño de losa

En la tabla 22 se presentan las propiedades de las vigas con las cuales el diafragma se conecta:

Perfiles que funcionan como portico

W18*60						
lx=	984	in4	40957,17	cm4	0,00040957	m4
ly=	50,1	in4	2085,32	cm4	2,0853E-05	m4
w18*76						
lx=	1330	in4	55358,78	cm4	0,00055359	m4
ly=	152	in4	6326,718	cm4	6,3267E-05	m4

Tabla 22, Inercias de perfiles W de las vigas de piso.

3.8.2 Cálculo de las dimensiones del puntal axial usando FEMA 350

A continuación, se calcula la longitud del puntal:

$$Rinf = LP = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2.83 \text{ m}$$

Rinf=LP=Longitud puntal

$$\text{Angulo} = \theta = \tan^{-1} \frac{2m}{2m} = 45^\circ$$

θ = Ángulo entre ancho y altura

A continuación, se calcula la rigidez del puntal:

$$\lambda = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \text{sen} 2\theta}{4 * E_{fe} * I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} = \frac{\left(\frac{2534563,6T}{m^2} \right) (0,05m) \text{sen} 2(45)}{4 \left(\frac{20389019T}{m^2} \right) * (2,08532E - 05m^4) (2m)} \right]^{\frac{1}{4}} = 2,4$$

A continuación, se calcula el ancho del puntal:

$$a = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} = 0.175((2.4)(2m))^{-0.4} (2.83) = 0,26 \text{ metros}$$

La sección del puntal para un diafragma cuadrado de 2 m de ancho y 2 m de largo, y 5 cm de espesor del diafragma, se calcula con un ancho de 26 cm usando las ecuaciones de FEMA 356.

Las dos estructuras “A” y “B” tienen las mismas losas de pisos, por lo tanto, se tendrá la misma sección de puntal para todos los paños, estructuras y modelos.

Propiedades del Puntal Diagonal Equivalente

Para el puntal diagonal equivalente, se usan las fórmulas dadas en 3.8.1 y 3.8.2 y se calcula la geometría del puntal como se indica en la tabla 23.

MODELO	GEOMETRIA
Ancho	26 cm
Espesor	5 cm
Longitud	2,83 cm
H(col)	2m
Área	130 cm ²
β	45°
L(inf)/h(inf)	1

Tabla 23, Parámetros geométricos del puntal axial

3.8.3 Curva de Capacidad del puntal axial

3.8.3.1 Parámetros del ASCE 41-17

El análisis de diafragma se realizará considerando a cada paño de la losa de 2m*2m*0.05m como un muro horizontal. La sección de muro es un componente controlado por desplazamiento con baja capacidad de ductilidad de acuerdo con la sección del ASCE 41-17 sección 10.7.1.2.

Los parámetros de la curva de capacidad y criterios de aceptación del muro corto controlado por corte se toman del ASCE 41-17.

El diafragma tiene una malla simétrica, por lo tanto, el acero se distribuye uniforme en toda la sección, las deformaciones serán las mismas $A_s=A'_s$ y el diafragma no porta cargas axiales. Según la tabla 10-19 de ASCE 41-17.

Para $\frac{A_s - A'_s)f_{yE} + P}{t_w I_w f_{cE}} \leq 0.05$ se tienen los primeros valores de la Tabla 24 proporcionada ASCE 41-17.

Conditions	Total Drift Ratio (%), or Chord Rotation (radians) ^a			Strength Ratio		Acceptable Total Drift (%) or Chord Rotation (radians) ^a		
	d	e	g	c	f	Performance Level		
						IO	LS	CP
i. Structural walls and wall segments ^b $\frac{(A_s - A'_s)f_{yE} + P}{t_w I_w f_{cE}} \leq 0.05$	1.0	2.0	0.4	0.20	0.6	0.40	1.5	2.0
$\frac{(A_s - A'_s)f_{yE} + P}{t_w I_w f_{cE}} > 0.05$	0.75	1.0	0.4	0.0	0.6	0.40	0.75	1.0
ii. Structural wall coupling beams ^c Longitudinal reinforcement and transverse reinforcement ^d	$\frac{V}{t_w I_w \sqrt{f_{cE}}}$							
Nonprestressed longitudinal reinforcement with conforming transverse reinforcement	≤3	0.02	0.030	0.60		0.006	0.020	0.030
Nonprestressed longitudinal reinforcement with nonconforming transverse reinforcement	≥6	0.016	0.024	0.30		0.005	0.016	0.024
Nonprestressed longitudinal reinforcement with conforming transverse reinforcement	≤3	0.012	0.025	0.40		0.006	0.010	0.020
Nonprestressed longitudinal reinforcement with nonconforming transverse reinforcement	≥6	0.008	0.014	0.20		0.004	0.007	0.012

Tabla 24, Curva de capacidad de un muro corto, ASCE41-17

Los valores de: d, e, g, c, f del ASCE 41-17 permiten dibujar la curva de capacidad que corresponde al comportamiento del muro corto de 2m*2m*0,05m.

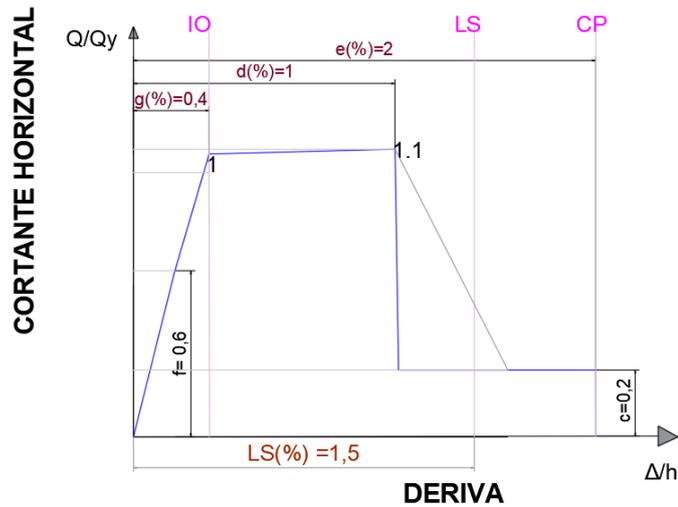


Ilustración 61, Propiedades de la curva de capacidad, ASCE41-17

3.8.3.2 Puntal SAP2000 equivalente al muro corto del ASCE 41-17

Para obtener el puntal equivalente a usarse en SAP2000, se debe transformar la deformación horizontal: para lo cual se multiplica por la altura del diafragma que es igual a 2 metros para obtener la deformación axial del diafragma de cada parámetro de la tabla 24.

Por ejemplo, la transformación del parámetro $d = 1\%$ de la tabla 24, en deformación horizontal es:

$$d = (0.01)(2m) = 0.02m$$

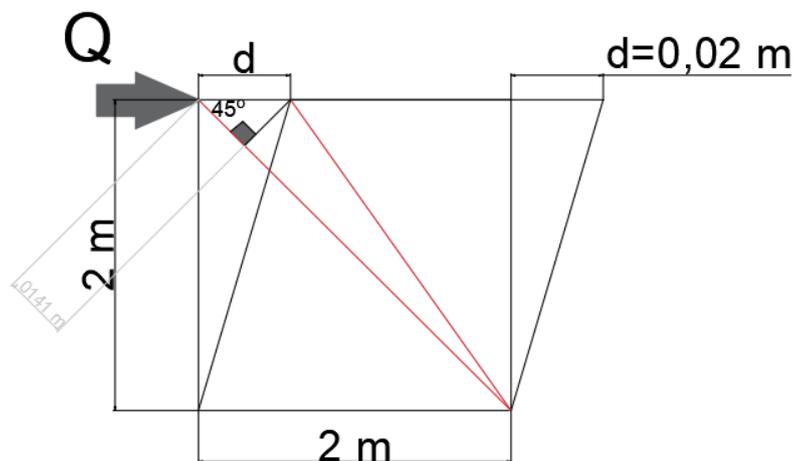


Ilustración 62, Deformación axial del puntal en un paño de losa.

Una vez obtenida la deformación horizontal del diafragma paralela a la carga, se procede a encontrar la deformación axial en el puntal.

Mediante trigonometría se encuentran las deformaciones axiales en el puntal, las cuales posteriormente serán ingresados en SAP2000.

$$\text{Con } d = 0.02\text{m y } \beta=45^\circ;$$

Siendo

$$\cos 45^\circ = 0,7071$$

La deformación axial del puntal es igual a:

$$d * \cos 45^\circ = 0.0141 \text{ m}$$

Con el anterior ejemplo de transformación de deformación del diafragma a deformación axial del puntal, se debe realizar el mismo proceso con los demás parámetros de la tabla del ASCE 41-17. Tomando en cuenta que el parámetro “g= 0.4%” es el que limita el rango elástico en la curva de capacidad, y debido a que SAP2000 no considera el rango elástico, se debe restar “g= 0,7071*(0,004*2m) = 0,0057 m” de los demás parámetros para que la curva de capacidad ingresada en SAP2000 sea correcta para el rango plástico.

	PORCENTAGE DEFORMACION	DERIVA LATERAL	DEFORMACION AXIAL(m)	DEFORMACION SAP2000(m)
	DELTA/ALTURA (%)	DELTA (m)		
d=	1	0,02	0,0141	0,0085
e=	2	0,04	0,0283	0,0226
g=	0,4	0,008	0,0057	
c=	0,2			
f=	0,6			
IO=	0,4	0,008	0,0057	0,0000
LS=	1,5	0,03	0,0212	0,0156
CP=	2	0,04	0,0283	0,0226

Tabla 25, Tabla de deformación axial del diafragma representado por el puntal.

Para encontrar la curva de capacidad del puntal axial se debe calcular la resistencia del diafragma a corte como sigue:

$$QCE = Vine = A_{ni} * f_{vie}$$

Donde:

QCE= Resistencia del diafragma a corte.

Aní= Área de la sección del diafragma resistente a corte.

fvi= esfuerzo a corte esperado de la losa de hormigón armado.

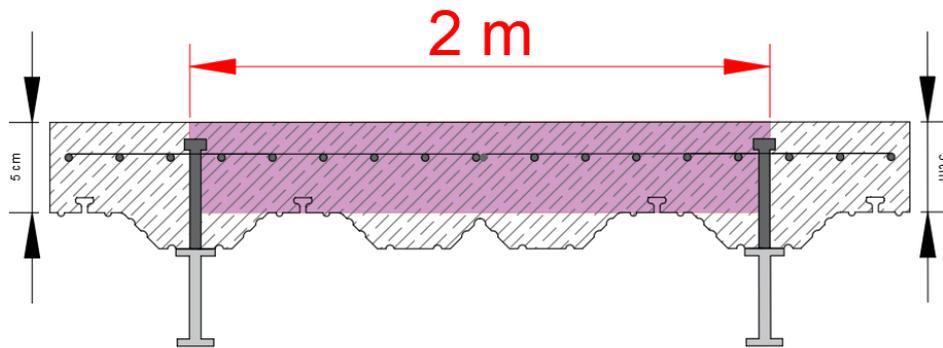


Ilustración 63, Área de la sección del diafragma resistente a corte

$$A_{ni} = 2m * 0.05m = 0.1 m^2$$

Esfuerzo a corte del diafragma:

$$f_{vi} = 4\sqrt{4000 lb/in^2}$$

$$f'c = 280 kg/cm^2 = 4000 lb/in^2$$

$$f_{vi} = 252.982 \frac{lb}{in^2} = 178.2 kg/cm^2$$

Una vez obtenido el esfuerzo a corte se multiplica por el área del diafragma, para obtener la resistencia a corte del mismo, pero en el modelo del diafragma como un puntal axial con un ángulo de 45° en SAP2000, esta

fuerza se debe descomponer en la componente paralela a la dirección del puntal, por lo tanto, se multiplica por coseno de 45°.

$$QCE = Ani * fvi = 0.1 m^2 * 178.232 \frac{Ton}{m^2}$$

$$QCE = 17.82 \text{ Ton}$$

$$QCE.Puntal = QCE * \cos 45^\circ$$

$$QCE \text{ Puntal} = 12.6 \text{ Ton}$$

Este valor obtenido se ingresa al SAP2000 con un factor de 1 debido a que se trabaja con las mismas unidades.

	Positive
Force SF	12.6
Disp SF	1.

Ilustración 64, Fuerza de resistencia a corte Diafragma, ingresado en SAP2000

Frame Hinge Property Data for ARTICULACION - Axial P

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0,2	-0,0226
D-	-0,2	-0,0085
C-	-1,1	-0,0085
B-	-1	0
A	0	0
B	1,	0,
C	1,1	0,0085
D	0,2	0,0085
E	0,2	0,0226

Symmetric

Type

Force - Displacement

Stress - Strain

Hinge Length

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

	Positive	Negative
<input type="checkbox"/> Use Yield Force	Force SF 12.6	
<input type="checkbox"/> Use Yield Disp [Steel Objects Only]	Disp SF 1.	

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

	Positive	Negative
<input type="checkbox"/> Immediate Occupancy	0.	
<input type="checkbox"/> Life Safety	0,0153	
<input type="checkbox"/> Collapse Prevention	0,02264	

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Ilustración 65, Curva de capacidad del Puntal Axial.

3.9 Modelamiento de elementos colectores de rigidez axial infinita en diafragmas Semi-Flexibles.

Se usan colectores de rigidez axial infinita para compatibilizar las deformaciones laterales de cada pórtico dentro de su propio plano.

Como se observa en la ilustración 66, se seleccionan los nodos correspondientes al pórtico en la dirección Y, luego se configura la opción “constraints rod” para crear restricción de deformación axial nula en la viga colectora del pórtico, Este proceso se repite para todas las vigas colectoras en todos los pórticos de los edificios A y B modelados en este Trabajo de Grado.

Este procedimiento se adopta para modelar diafragmas Semi-Flexibles formados por losas de hormigón delgadas, modeladas con tensores axiales que se pueden agrietar y plastificar en cortante.

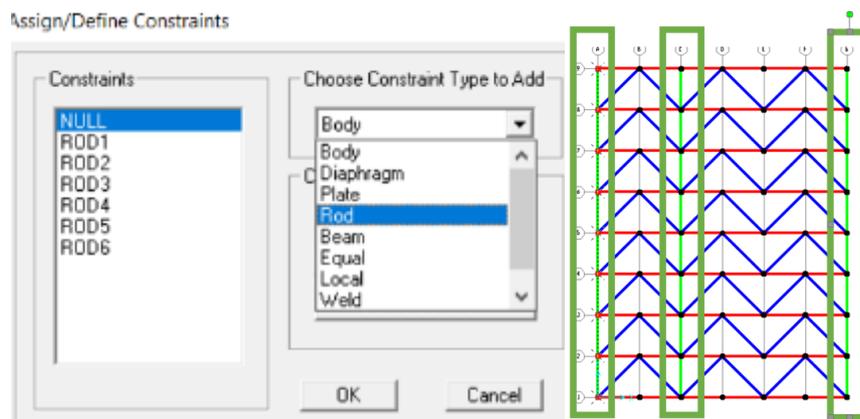


Ilustración 66, Vínculos de desplazamiento en nudos de los porticos, SAP2000

4 CAPÍTULO (Resultados obtenidos de los Análisis Pushover)

En este capítulo se dan a conocer los resultados de la formación de las articulaciones plásticas en los puntales axiales y las correspondientes reacciones de cortante basal que reporta SAP2000, según el número de paso (step) de la secuencia de carga incremental del análisis Pushover.

Se presentan las reacciones de los cortante basal calculados para los modelos con diafragmas rígido y semi-flexible de las estructuras de 2 pisos (edificio "B"), y 10 pisos (edificio "A").

Los resultados obtenidos muestran la degradación de la rigidez de las estructuras por formación progresiva de las rotulas plásticas asociadas a los siguientes niveles de desempeño sísmico:

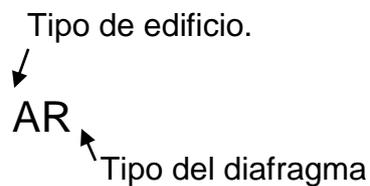
- Ocupación Inmediata
- Seguridad de Vida
- Prevención de Colapso

4.1 Codificación de los modelos

Se analizan dos modelos elásticos de estructuras (A y B) con diafragma rígido y dos modelos inelásticos de estructuras (A y B) con diafragma semi-flexible.

Simbología de los modelos

Todos los modelos y sus variantes tienen un código único, que usa la siguiente nomenclatura:



Tipo de Edificio:

A → Estructura de 10 Pisos

B → Estructura de 2 Pisos

Comportamiento del diafragma:

R → Estructura elástica con diafragma elástico rígido con carga lateral ubicada en el centro geométrico de cada planta.

M → Estructura elástica con diafragma semi-flexible inelástico modelado como puntal axial con sus propiedades no lineales, y con la carga lateral distribuida como función de las masas tributarias sobre cada pórtico resistente a carga lateral.

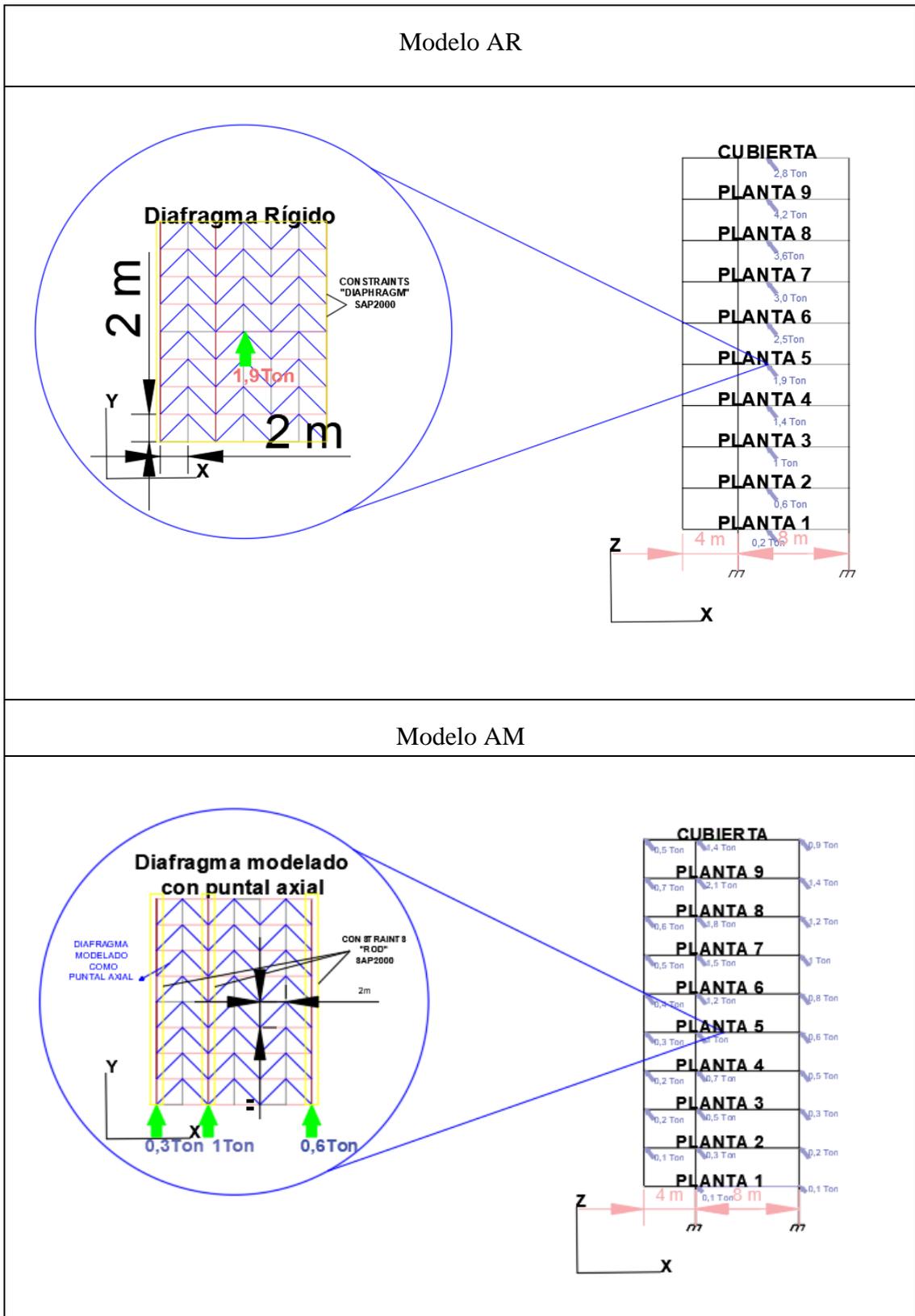


Ilustración 67, Modelos del análisis Pushover para el edificio A

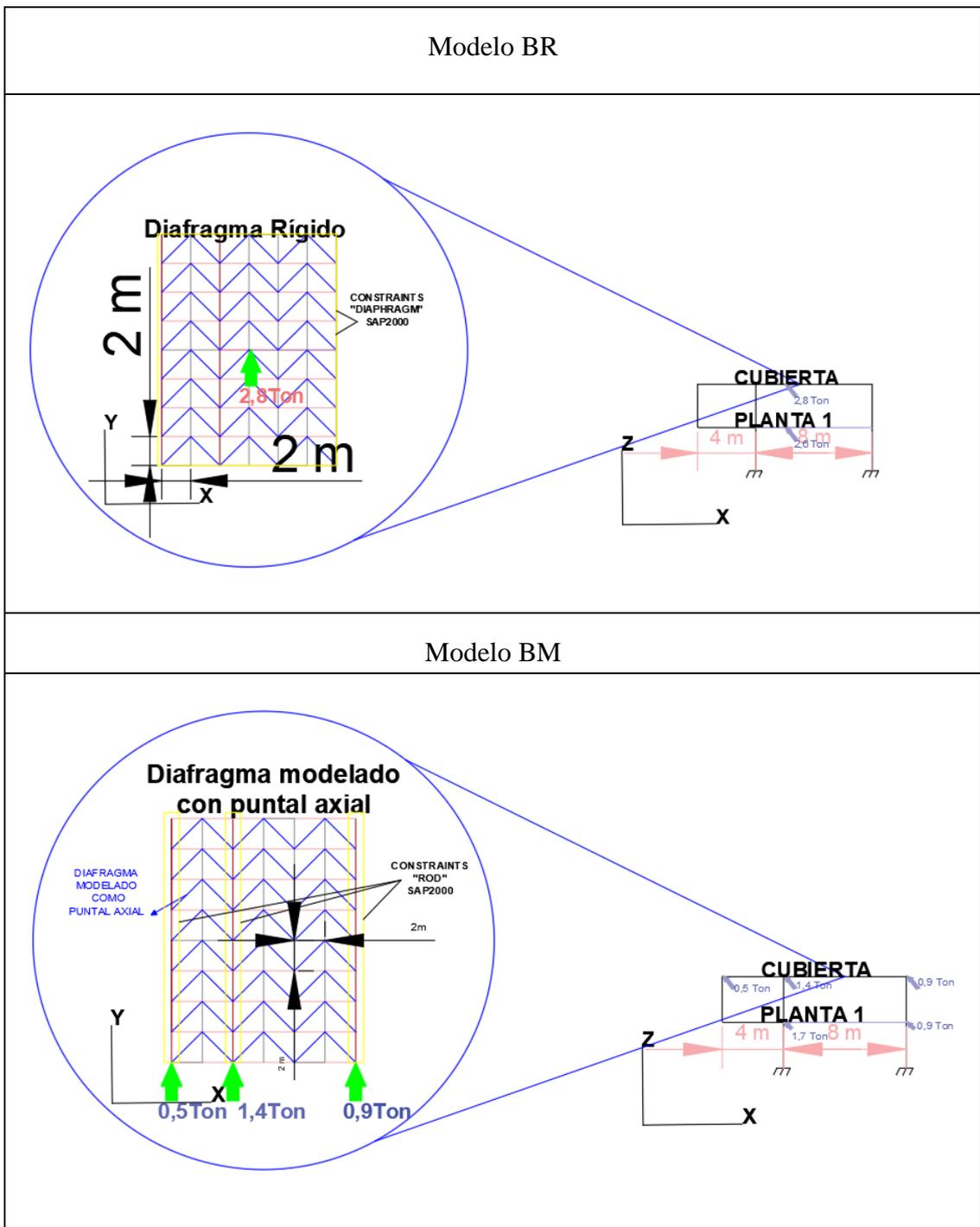


Ilustración 68, Modelos del análisis Pushover para el edificio B

4.2 Desempeño Sísmico del Diafragma del Modelo AM

La estructura A ha sido diseñada para un coeficiente sísmico de 0,19 y un cortante basal $V= 212,7\text{Ton}$.

La ilustración 69 muestra la formación de dos articulaciones plásticas ubicadas en el volado del segundo piso durante el paso 4 del análisis Pushover (Step 4). El cortante basal reportado por SAP2000 es 426,71 Ton, mismo que representa aproximadamente el doble del cortante basal V de diseño.

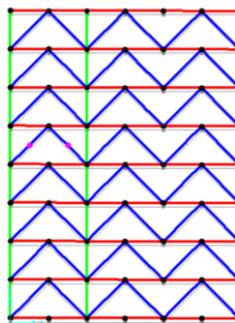


Ilustración 69, Articulaciones plásticas en el piso 2, paso 4 del análisis

En la ilustración 70 se muestra la formación de dos articulaciones plásticas adicionales ubicadas en el volado del segundo piso durante el paso 5 del análisis Pushover (Step 5). El cortante basal reportado por SAP2000 es 563,98 Ton, mismo que representa aproximadamente el triple del cortante basal V de diseño.

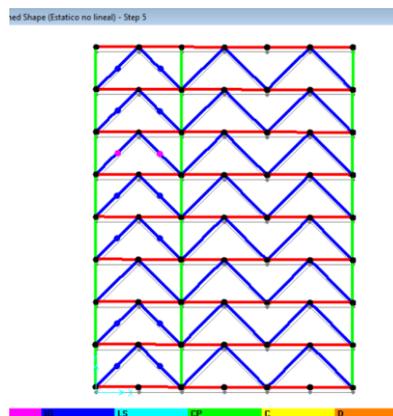


Ilustración 70, Articulaciones plásticas en el piso 2, paso 5 del análisis

En la ilustración 71 se muestra la formación de una articulación plástica ubicada en el tercer piso durante el paso 5 del análisis Pushover (Step 5). El cortante basal reportado por SAP2000 es 563,98 Ton, mismo que representa aproximadamente el triple del cortante basal de diseño.

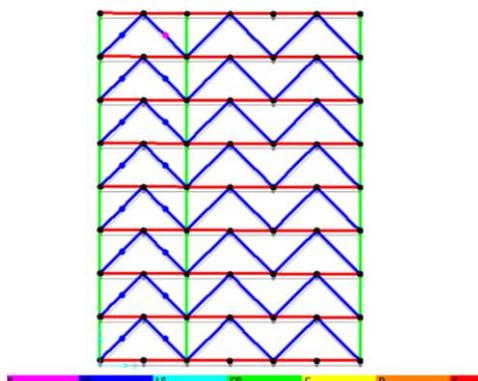


Ilustración 71, Articulación plástica en el piso 3, paso 5 del análisis

En la tabla 26 se resume el desempeño sísmico del diafragma hasta un cortante menor e igual a $\Omega V = 3V$; la fuerza máxima de corte que la estructura puede admitir en función de su sobre-resistencia ($3V = 638$ Ton).

CARGA PUSHOVER			DESEMPEÑO SÍSMICO (SEGÚN NÚMERO DE ROTULAS PLÁSTICAS)		
STEP(PASOS)	CORTANTE BASAL (Ton)	CORTANTE BASAL (%V)	OCUPACION INMEDIATA (OI)	SEGURIDAD DE VIDA (LS)	PREVENCIÓN DEL COLAPSO (PC)
0	0	0V	0	0	0
1	137,19	0,6V	0	0	0
2	274,39	1,3V	0	0	0
3	411,57	1,9V	0	0	0
4	426,71	2V	2	0	0
5	563,98	2,6V	2	28	0
6	700	3,3V	0	32	0

Tabla 26, Desempeño Sísmico del Diafragma del Modelo AM

A partir de los resultados del desempeño sísmico del diafragma mostrado en la Tabla 26, se concluye que el diafragma se comporta elástico y sin degradación de rigidez hasta un cortante igual o menor a 2V.

4.3 Desempeño Sísmico del Diafragma del Modelo BM

La estructura B ha sido diseñada para un coeficiente sísmico de 0,32 y un cortante basal **V= 54,08Ton**.

La ilustración 73 se muestra la formación de dos articulaciones plásticas ubicadas en el volado del primer piso durante el paso 5 del análisis Pushover (Step 5). El cortante basal reportado por SAP2000 es 325 Ton, mismo que representa aproximadamente el seis veces el cortante basal V de diseño.

Las primeras dos rótulas plásticas se forman en el primer piso durante el paso 5 del análisis Pushover (Step 6). El cortante basal reportado por SAP2000 es 325 Ton, mismo que representa aproximadamente seis veces del cortante basal V de diseño.

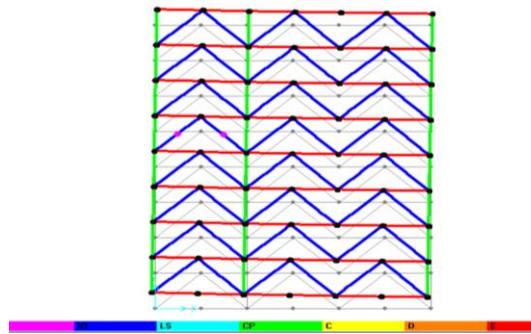


Ilustración 72, Articulación plástica en el piso 1, paso 5 del análisis

En la tabla 27 se resume el desempeño sísmico del diafragma en exceso el cortante igual a $\Omega V = 3V$; la fuerza máxima de corte que la estructura puede en función de su sobre-resistencia ($3V=162$ Ton).

CARGA PUSHOVER			DESEMPEÑO SISMICO (SEGÚN NÚMERO DE ROTULAS PLASTICAS)		
STEP(PASOS)	CORTANTE BASAL (Ton)	CORTANTE BASAL (%V)	OCUPACION INMEDIATA (OI)	SEGURIDAD DE VIDA (LS)	PREVENCIÓN DEL COLAPSO (PC)
0	0	0V	0	0	0
1	68	1,3V	0	0	0
2	136	2,5V	0	0	0
3	204	3,7V	0	0	0
4	272	5V	0	0	0
5	325	6V	2	0	0
6	409	7,6V	0	16	0

Tabla 27, Desempeño sísmico del diafragma del modelo BM

A partir de los resultados del desempeño sísmico del diafragma mostrado en la Tabla 27, el diafragma se comporta elástico y sin degradación de rigidez hasta un cortante igual o menor a 5V.

4.4 Reacciones de corte a la base de cada pórtico

En las ilustraciones 73 y 74 se presenta la ubicación de los nodos donde se producen las reacciones de corte a la base en las estructuras A y B; respectivamente.

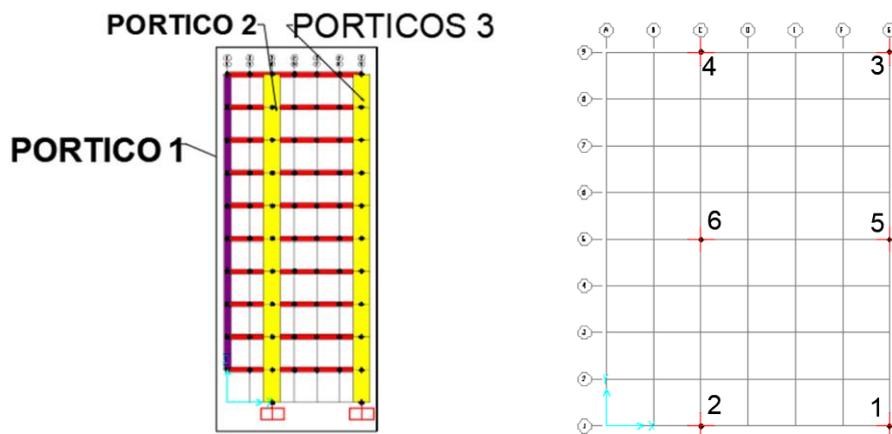


Ilustración 73, Ubicación de pórticos y nodos en la base de la estructura A

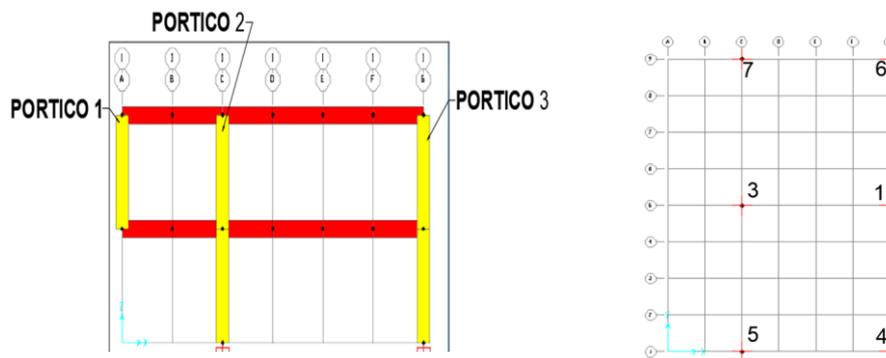


Ilustración 74, Ubicación de pórticos y nodos en la base de la estructura B

En las tablas 28 y 29 se presenta las reacciones de corte a la base de los modelos AR y AM; y BR y BM, respectivamente.

PORTICO 2			PORTICO 3		
NODOS	AR(Ton)	AM(Ton)	NODOS	AR(Ton)	AM(Ton)
4	-44,70	-46	3	-31,76	-30,88
6	-42,41	-43	5	-34,71	-33,06
2	-31,46	-32	1	-27,06	-25,52
REACCIONES	-118,58	-121,64		-93,52	-89,46

Tabla 28, Reacciones de corte a la base de las estructuras AR y AM

PORTICO 2			PORTICO 3		
NODOS	BR(Ton)	BM(Ton)	NODOS	BR(Ton)	BM(Ton)
7	-14,67	-15	6	-9,37	-9,31
3	-11,26	-11	1	-8,91	-8,86
5	-4,60	-5	4	-5,19	-5,14
REACCIONES	-30,53	-31,00		-23,47	-23

Tabla 29, Reacciones de corte a la base de las estructuras BR y BM

Al comparar a los modelos AR con AM y BR con BM, se concluye que la altura de las estructuras y la intensidad de la carga sísmica asociada con la altura, es determinante para que en la estructura A de 10 pisos la distribución de cortantes y reacciones produzca un comportamiento de diafragma semi-rígido, mientras en la estructura B de 2 pisos los resultados indican que el diafragma no se degrada y la distribución de corte es esencialmente función de las rigideces de los pórticos independiente de la forma como se han aplicado las cargas sísmicas externas.

4.5 Cortante de piso por pórtico

En la tabla 30 se muestra la distribución de cortante de piso y por pórtico para los modelos del edificio A.

Número de Piso	CORTANTE DE PISO	CORTANTE DE PISO POR PÓRTICO MODELO AM			CORTANTE DE PISO POR PÓRTICO MODELO AR		
	(Ton)	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1
10	28	1,60	10,98	15,42	-2	11,52	18,59
9	70	14,19	24,92	30,89	15	24,60	30,40
8	106	26,24	36,34	43,43	27	36,42	42,75
7	136	35,18	46,69	54,12	34	46,99	54,87
6	160	43,57	54,78	61,65	43	55,05	62,82
5	179	51,84	61,43	65,73	49	61,38	69,80
4	193	58,53	64,83	69,64	52	66,52	75,32
3	203	55,08	70,20	77,72	60	67,16	77,25
2	209	33,64	89,39	85,97	30	86,57	93,19
1	211		121,64	89,46		118,58	93,52

Tabla 30, Distribución de cortante por piso y por pórtico de AM y AR

En la tabla 31 se muestra la distribución de cortante de piso de los modelos del edificio B.

Número de Piso	CORTANTE DE PISO POR PÓRTICO MODELO BM			CORTANTE DE PISO POR PÓRTICO MODELO BR		
	Y3	Y2	Y1	Y3	Y2	Y1
2	9,15	8,40	10,40	10,39	6,86	10,75
1		31,13	22,87		30,50	23,50

Tabla 31, Distribución de cortante por piso y por pórtico de BM y BR

Los cortantes de piso en cada pórtico muestran similar tendencia a la analizada en la sección 4.4 con relación a la distribución del cortante sobre las reacciones a la base de las estructuras.

5 CAPÍTULO (Comparación de resultados de diafragmas Rígidos y Semi-Flexibles)

5.1 Comparación de modelos AM y AR

A partir de los resultados obtenidos para la distribución del corte por piso y por pórtico y las reacciones de corte a la base, se procede a comparar el comportamiento de los diafragmas AM y AR.

La ilustración 75 muestra la distribución de reacciones de corte traslacional sin torsión sobre la base de la estructura A con diafragmas rígidos, donde corresponde una reacción en cada pórtico equivalente al 50% de la carga lateral total aplicada sobre la estructura.

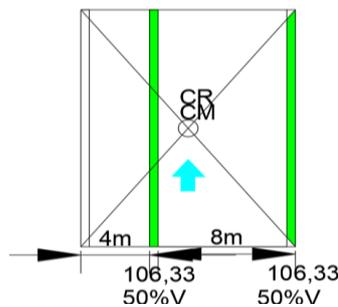


Ilustración 75, Diafragma rígido con distribución de reacciones de corte sin torsión

La ilustración 76 muestra la distribución de reacciones de corte traslacional sin torsión sobre la base de la estructura A con diafragmas flexibles, donde corresponde una reacción del 67% de la carga lateral total aplicada sobre la estructura sobre el segundo pórtico y 33% sobre al tercer pórtico.

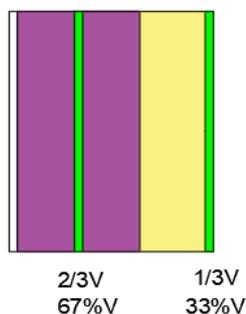


Ilustración 76, Diafragma flexible, con distribución de reacciones de corte sin torsión sobre la estructura A con diafragma flexible

La ilustración 77 muestra la distribución de reacciones de corte traslacional con torsión sobre la estructura A con diafragmas rígidos, donde corresponde al segundo pórtilo una reacción de 118,58 Ton que es igual al 56% del cortante basal, y al tercer pórtilo una reacción de 93,52 Ton que es igual al 44 % del cortante basal total V. Con las reacciones obtenidas en SAP2000, también se calcula la ubicación del centro de rigidez, mismo que con relación a la ubicación del centro de masas define una excentricidad de 1,5 m equivalente al 12% del ancho de la estructura.

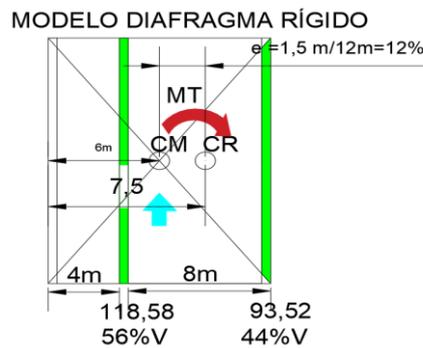


Ilustración 77, Diafragma rígido con distribución de reacciones de corte con torsión

La ilustración 78 muestra la distribución de reacciones de corte traslacional con torsión sobre la estructura A con diafragmas semi-flexibles, donde corresponde al segundo pórtilo una reacción de 121,64 Ton que es igual al 58% del cortante basal y al tercer pórtilo una reacción de 89,46 Ton que es igual al 42% del cortante basal. Con las reacciones obtenidas en SAP2000, también se calcula la ubicación del centro de rigidez, misma que con relación a la ubicación del centro de masas define una excentricidad de 1,33 m equivalente al 11%.

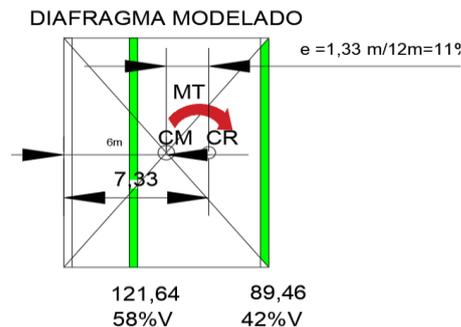


Ilustración 78, Diafragma Semi-flexible con distribución de reacciones de corte con torsión.

Los resultados obtenidos para los modelos AR y AM se resumen en la tabla 32.

	AR(Ton)	AM(Ton)		AR(Ton)	AM(Ton)
PORTICO 2	-118,58	-121,64	PORTICO 3	-93,52	-89,46

Tabla 32, Comparación de Reacciones a la base de los diafragmas AM y AR .

En la Tabla 33 se muestra la comparación de las reacciones de corte de los pórticos. Se tiene una diferencia del 11% del cortante basal entre el comportamiento de diafragma flexible y el comportamiento de diafragma rígido.

También se tiene una diferencia del 2% del cortante basal entre el comportamiento de diafragma semi-flexible y el comportamiento de diafragma rígido.

	PORTICO 2	PORTICO 3	
Flexible (DF)	0,67V	0,33V	
Rígido (DR)	0,56V	0,44V	
Diferencia (DF-DR)	11%		
Semi-Flexible (DSF)	0,58V	0,42V	
Diferencia (DSF-DR)	2%		2/11=18%
Diferencia (DF-DSF)	9%		9/11=82%

PERDIDA DE RIGIDEZ DEL DIAFRAGMA

COMPORTAMIENTO DIAFRAGMA RIGIDO

Tabla 33, Cuadro comparativo de las reacciones de corte en la base de los pórticos

Se aprecia que la distribución del cortante basal de pórticos, se asemeja mucho más a una distribución de rigideces (9%) y mucho menos (2%) a una distribución de masas tributarias sobre pórticos; por lo tanto, se considera al diafragma como semi-rígido y no se valida la hipótesis de este estudio que postuló la existencia de un diafragma Semi-flexible.

5.2 Comparación de modelos BM y BR

A partir de los resultados obtenidos para la distribución del corte por piso y por pórtico y las reacciones de corte a la base, se procede a comparar el comportamiento de los diafragmas BM y BR:

La ilustración 79 muestra la distribución de reacciones de corte traslacional sin torsión sobre la base de la estructura B con diafragmas rígidos, donde corresponde una reacción de cada pórtico equivalente al 50% de la carga lateral total aplicada sobre la estructura.

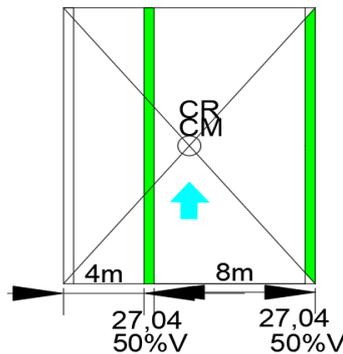


Ilustración 79, Diafragma rígido con distribución de reacciones de corte sin torsión

La ilustración 80 muestra la distribución de reacciones de corte traslacional sin torsión sobre la base de la estructura B con diafragmas flexibles, donde corresponde una reacción del 67% de la carga lateral total aplicada sobre la estructura sobre el segundo pórtico y 33% sobre el tercer pórtico.

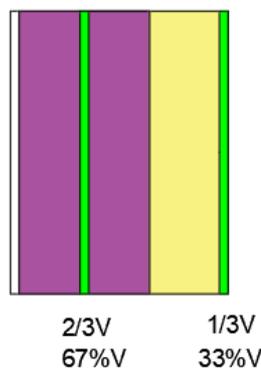


Ilustración 80, Diafragma flexible, con distribución de reacciones de corte sin torsión sobre la estructura B con diafragma flexible

La ilustración 81 muestra la distribución de reacciones de corte traslacional con torsión sobre la estructura B con diafragmas rígidos, donde corresponde al segundo pódico una reacción de 30,53 Ton que es igual al 56% del cortante basal, y al tercer pódico una reacción de 23,46 Ton que es igual al 44 % del cortante basal total V. Con las reacciones obtenidas en SAP2000, también se calcula la ubicación del centro de rigidez, mismo que con relación a la ubicación del centro de masas define una excentricidad de 1,48 m equivalente al 12% del ancho de la estructura.

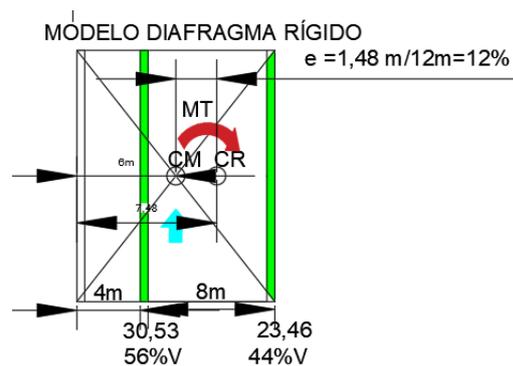


Ilustración 81, Diafragma rígido con distribución de reacciones de corte con torsión

La ilustración 82 muestra la distribución de reacciones de corte traslacional con torsión sobre la estructura B con diafragmas semi-flexibles, donde corresponde al segundo pódico una reacción de 31 Ton que es igual al 57% del cortante basal y al tercer pódico una reacción de 23 Ton que es igual al 43% del cortante basal. Con las reacciones obtenidas en SAP2000, también se calcula la ubicación del centro de rigidez, misma que con relación a la ubicación del centro de masas define una excentricidad de 1,39 m equivalente al 11%.

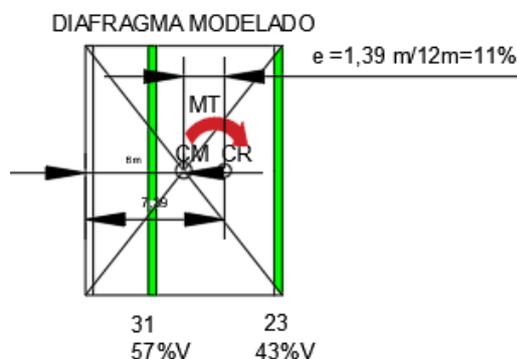


Ilustración 82, Diafragma Semi-flexible con distribución de reacciones de corte con torsión.

Los resultados obtenidos para los modelos BR y BM se resumen en la tabla 34.

	BR(Ton)	BM(Ton)		BR(Ton)	BM(Ton)
PORTICO 2	-30	-31	PORTICO 3	-23,46	-23

Tabla 34, Comparación de Reacciones a la base de los diafragmas BM y BR .

En la Tabla 35 se muestra la comparación de las reacciones de corte de los pórticos. Se tiene una diferencia del 11% del cortante basal entre el comportamiento de diafragma flexible y el comportamiento de diafragma rígido.

También se tiene una diferencia del 1% del cortante basal entre el comportamiento de diafragma semi-flexible y el comportamiento de diafragma rígido.

	PORTICO 2	PORTICO 3	
Flexible (DF)	0,67V	0,33V	
Rígido (DR)	0,56V	0,44V	
Diferencia (DF-DR)	11%		
Semi-Flexible (DSF)	0,57V	0,43V	
Diferencia (DSF-DR)	1%	0,1/11=9%	PERDIDA DE RIGIDEZ DEL DIAFRAGMA COMPORTAMIENTO DIAFRAGMA RIGIDO
Diferencia (DF-DSF)	10%	10/11=91%	

Tabla 35, Cuadro comparativo de las reacciones de corte en la base de los pórticos

Se aprecia que la distribución del cortante basal de pórticos, se asemeja mucho más a una distribución de rigideces (10%) y mucho menos (1%) a una distribución de masas tributarias sobre pórticos; por lo tanto, se considera al diafragma como semi-rígido y no se valida la hipótesis de este estudio que postuló la existencia de un diafragma Semi-flexible.

6 CAPÍTULO (CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES)

6.1 Conclusiones

- En los modelos AM y BM, la resistencia al corte del diafragma es suficiente para soportar cargas por sismo hasta un cortante basal equivalente a $3V$.

En el caso del modelo AM, el comportamiento no lineal del diafragma muestra degradación incipiente de rigidez, siendo un diafragma Semi-Rígido. En el modelo BM el comportamiento del diafragma es elástico y sin degradación de rigidez.

- Se concluye que las estructuras con diafragmas rígidos no son muy sensibles a la forma como se aplican las cargas sísmicas externas; puesto que se han obtenido distribuciones de cortante por piso y pórtico similares tanto para el caso de cargas aplicadas sobre el centro de masas como para el caso de cargas aplicadas directamente sobre los pórticos como función de sus masas tributarias.

Así mismo, para el caso de una estructura con diafragmas semi-rígidos, la distribución interna de cortantes por piso y pórtico no es muy sensible a la forma como se aplican las cargas sísmicas externas; prevaleciendo los efectos de la redistribución de fuerzas internas de corte y flexión, como una función de las rigideces relativas de los pórticos.

- Se concluye que cuando la estructura aporticada y sus conexiones se analizan elásticamente y no es permitida su plastificación (esto sería el caso de una estructura muy fuerte con relación a los diafragmas), los diafragmas y muestran buen desempeño sísmico.
- La aplicación de la metodología de análisis descrita en este Trabajo de Grado para el modelamiento del comportamiento de diafragmas semi-rígidos por medio de elementos colectores de rigidez axial infinita proporciona resultados útiles, debido a que permite el

desplazamiento diferencial entre pórticos resistentes a cargas laterales y la posibilidad de incorporar el comportamiento inelástico de la losa del diafragma, permitiendo al diafragma flectar en su plano y agrietarse en cortante.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda investigar el comportamiento de conexiones inelásticas débiles de los diafragmas tipo STEEL DECK con la estructura aporticada. Con lo cual se podrá estudiar el flujo de corte sobre los conectores y limitar la capacidad de carga y ductilidad del diafragma a la resistencia y ductilidad de los mismos. Los conectores débiles pueden producir diafragmas Semi-Flexibles y Flexibles, y llevar a la falla frágil a una estructura.
- Se recomienda modelar el comportamiento inelástico de los elementos del pórtico (vigas y columnas); particularmente de las vigas principales y secundarias que funcionan como cuerdas del diafragma.
- Se recomienda formular los métodos de análisis y diseño de diafragmas Semi-Rígidos y Semi-Flexibles en la norma NEC-15.

7 Bibliografía

- Argudo, J. F. (2011). *Tareas pruebas y exámenes*. Recuperado el 8 de agosto de 2013, de Jaime Argudo: <http://jaimeargudo.com/ing-sismica-ucsg/tareas-y-examenes/>
- Argudo, J., Villacrés, A., & Mera, W. (1999). *Volumen I y III: Proyecto Radius*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil-Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería (IIFIUC), M.I. Municipalidad de Guayaquil, Naciones Unidas, GeoHazards International, Guayaquil, Ecuador.
- American Society of Civil Engineers (2010). "Minimum Design Loads for Buildings and other Structures", ASCE Standard ASCE/SEI-7-16, Virginia.
- FEMA. (2004). NEHRP Recommended Provisions and Commentary for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures - FEMA 450.
- NEC-11. (2011). "Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente", *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito, Ecuador.
- Villareal, G. (10 de enero de 2012). *Curso SAP2000 - Tema: Análisis sísmico dinámico Tiempo-Historia de edificio aporticado*. Recuperado el 12 de Agosto de 2013, de YouTube: <http://www.youtube.com/watch?v=-ECQ7jIRrak>
- Basu, D. y S. K. Jain (2004), "Seismic analysis of asymmetric buildings with flexible floor diaphragms", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 130, No. 8, pp.1169-1176. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n89/n89a6.pdf>
- Chinchilla, K. L. (2012), "Evaluación de la flexibilidad de diafragma en sistemas de piso utilizados en edificios urbanos", *Tesis de Maestría*, Posgrado en Ingeniería Estructural, División de Ciencias

Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.

ACI (318S-14). (s. f.). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI (318S-14). Recuperado de https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf

Barros Cabezas, J. (2016a). Estructuras Metálicas CAPITULO IV - ELEMENTOS A FLEXION.

Barros Cabezas, J. (2016b). Estructuras Metalicas CAPITULO V - ELEMENTOS A COMPRESION Y FLEXION COMBINADAS.

B.W. Schafer³, G. B., S. Torabian², (s. f.). Modelos de segundo orden para paneles de diafragma de acero con perfil. Recuperado de <http://steeli.org/wp-content/uploads/2016/06/Modeling-Deck-Bian-et-al-CCFSS2016.pdf>

By Rafael Sabelli, P.E., S.E; Warren Pottebaum, S.E.; and Brian Dean, LEED AP. (2009, enero). Diafragmas para carga sísmica. Recuperado 27 de junio de 2018, de https://cseengineermag.com/wp-content/uploads/2017/11/SE0109_Diaphragms-copy.pdf

CATALOGO DE NOVALOSA. (s. f.). comflornz. (s. f.). ComFlor - Plataformas de piso de acero compuesto - Descripción del producto (VÍdeo). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=j5NBk2BwG0c>

Estructuras Sismorresistentes. (s. f.). Recuperado 12 de julio de 2018, de <https://miriadax.net/web/estructuras-sismorresistentes>

Farzad Naeim, Ph.D., S.E. (s. f.). Diseño Sísmico de Diafragmas de Piso. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-1693-4_8

FEMA 356. (2000). PRE NORMATIVA Y COMENTARIOS PARA EL REHABILITACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS.

García, V., & Andrés, G. (2009). Modelamiento Puntal Tensor para Muros Cortos. Repositorio Académico - Universidad de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103439>

Iveta Georgieva. (2017). Diseño compuesto en SCIA Engineer 17.

Jack P. Moehle, John D. Hooper, Dominic J. Kelly, & Thomas R. Meyer. (s. f.). Diseño sísmico de diafragmas de hormigón moldeados en sitio Acordes y Colectores. NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 3. Recuperado de <https://www.nehrp.gov/pdf/nistgcr10-917-4.pdf>

J.M. Scarry. (2014). Diafragmas del piso - Baluarte sísmico o talón de Aquiles. Recuperado de https://db.nzsee.org.nz/2014/oral/19_Scary.pdf

NEC 2015. PELIGRO SISMICO DISEÑO SISMICO RESISTENTE. Recuperado de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-2.pdf>

NIST GCR 17-917-46v1. (2017). Pautas para Análisis estructural no lineal para Diseño de edificios. Recuperado de <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/jrc-and-nist-strengthen-their-collaboration-7367>

NIST GCR 17-917-46v2. (s. f.). Pautas para no lineal Análisis estructural para Diseño de edificios. Recuperado de <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/jrc-and-nist-strengthen-their-collaboration-7367>

NovaceroEcuador. (s. f.). Instalación Novalosa paso a paso. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=dhKtGXtk2mM>.

Rafael Sabelli, Thomas A. Sabol, W. Samuel Easterling, & Martin, J. A. (s. f.).
Diseño Sísmico de Diafragmas de Piso, 36.

Schlaich, Jörg. (1992). Diseño de modelo de puntales y tirantes de estructura
hormigón. Recuperado de Link: <http://doi.org/10.5169/seals-13926>

S.M. Zahrai, & L. Sarkissian. (s. f.). ESTUDIO NUMÉRICO DEL
COMPORTAMIENTO DEL DIAFRAGMA DE LOS SISTEMAS DE
PISOS COMPUESTOS SOMETIDOS A CARGA LATERAL. CD02-025.
Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/269094019_NUMERICAL_STUDY_OF_THE_DIAPHRAGM_BEHAVIOR_OF_THE_COMPOSITE_FLOOR_SYSTEMS_SUBJECTED_TO_LATERAL_LOAD

Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. (2013). Evaluación sísmica y
Adaptación Existente de Edificios ASCE/SEI (41-13).

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Paul Alexander Flores Gavilánez** con C.C: 0202192852 autor/a del trabajo de titulación: **Investigación de las condiciones geométricas y físicas que favorecen la formación de diafragmas flexibles mediante modelamiento matemático lineal y no lineal usando SAP2000**. Previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, **13 de septiembre** de **2018**

f. _____

Nombre: **Flores Gavilánez, Paul Alexander**

C.C: **0202192852**



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Investigación de las condiciones geométricas y físicas que favorecen la formación de diafragmas flexibles mediante modelamiento matemático lineal y no lineal usando SAP2000.		
AUTOR(ES)	Flores Gavilánez, Paúl Alexander		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Argudo Rodríguez, Jaime Fernando, PhD		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de septiembre del 2018	No. DE PÁGINAS:	121
ÁREAS TEMÁTICAS:	Estructura, Hormigón, Análisis estructural, Sísmica.		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Diafragma, Rigidez, Flexibilidad, Desplazamiento, Deformación, Placa Colaborante, Esfuerzo, Cortante, Momento, Excentricidad, Pórtico, Cuerdas, Colectores, Pushover, Rótulas (Hinges).		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Este trabajo tiene como objetivo el análisis de las características geométricas y físicas que contribuyen a la formación de diafragmas flexibles, usando modelos con distintas condiciones. Con el programa SAP2000. Se estudia el diafragma con un modelo estructural no lineal de transmisión de carga horizontal, con el cual se clasifica al diafragma no lineal según su aproximación a un diafragma infinitamente flexible en el cual la carga se distribuye en función de masas tributarias, o según su aproximación a un diafragma infinitamente rígido donde la distribución de carga es función de la rigidez de los pórticos. Los diafragmas una vez estudiados, tienen una condición intermedia en la cual la distribución de carga depende de la rigidez a corte del diafragma y los pórticos. Conforme el diafragma se agrieta y deforma en cortante dentro de su plano, la distribución de carga horizontal dentro del diafragma inicialmente es función de rigidez y luego se aproxima ligeramente a una distribución que es función de masas tributarias sobre los pórticos. En cuanto al modelamiento, se utiliza un puntal axial para sustituir el diafragma con sus propiedades no lineales, y se analiza la estructura mediante el método de carga estática lateral (Pushover no-lineal estático), usando el programa SAP2000. En los análisis realizados para los modelos, se logra evidenciar las diferentes distribuciones del cortante en los elementos verticales resistentes a carga lateral, en función de la degradación de la rigidez a corte del diafragma modelado.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-989551811	E-mail: palexander93@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			