

COMPARACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL  
PSEUDOTRIDIMENSIONAL Y TRIDIMENSIONAL DE UNA ESTRUCTURA  
A PORTICADA CON IRREGULARIDAD EN PLANTA DE RETROCESOS EN LAS  
ESQUINAS (TIPO 2P, SEGÚN NSR-10).



VICTOR RENAN CASTILLO ÑAÑEZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
Programa de Ing. civil  
Popayán  
2014

COMPARACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL  
PSEUDOTRIDIMENSIONAL Y TRIDIMENSIONAL DE UNA ESTRUCTURA  
A PORTICADA CON IRREGULARIDAD EN PLANTA DE RETROCESOS EN LAS  
ESQUINAS (TIPO 2P, SEGÚN NSR-10).



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL

VICTOR RENAN CASTILLO ÑAÑEZ

Profesores guía:  
ALFER SILVA CERÓN  
HOMERO ERAZO FRANCO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
Programa de Ing. civil  
Popayán  
2014

**Nota de aceptación.**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado.

---

Firma del jurado.

Popayán, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 2015

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.</b> ....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCION.</b> ....	<b>6</b>
<b>1. OBJETIVOS.</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS GENERALES.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA BAJO EL CRITERIO TRADICIONAL (PSEUDO-TRIDIMENSIONAL).</b> .....	<b>15</b>
2.1. DATOS GENERALES DE LA REGIÓN. ....	16
2.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL SÍSMICO POR EL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE. ....	17
2.3. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL EDIFICIO.....	22
2.3.1. Dimensionamiento de la losa de entrepiso. ....	25
2.3.2. Cálculo de cargas de entrepiso. ....	29
2.3.2.1. Evaluación de la masa de los entrepisos.....	29
2.3.3. Cálculo de cargas de cubierta. ....	30
2.3.3.1. Evaluación de la masa de la cubierta. ....	31
2.3.4. Masa total del edificio. ....	32
2.4. CÁLCULO DEL CORTANTE DE BASE ( $V_s$ ). ....	33
2.5 MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE. ....	33
2.6. CÁLCULO DE LOS CENTROS DE MASA Y LOS CENTROS DE RIGIDEZ DE CADA ENTREPISO. ....	34
2.6.1. Centro de Masa (CM). ....	34
2.6.2. Centro de Rigidez (CR). ....	36
2.6.2.1. Método de Wilbur. ....	36
2.6.3. Centros de Rigidez de cada entrepiso o centro de Torsión. ....	40
2.7. CÁLCULO DE FUERZAS PARA LA ESTRUCTURA CON EL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE. ....	41
2.7.1. Entrepiso 3. ....	42
2.7.1.1. Datos generales del entrepiso. ....	42
2.7.1.2. Cálculo del cortante de diseño para el entrepiso 3. ....	43
2.7.1.3. Datos generales del entrepiso. ....	44
2.7.2. Entrepiso 2. ....	45
2.7.2.1. Datos generales del entrepiso. ....	45
2.7.2.2. Cálculo del cortante de diseño para el entrepiso 3. ....	46
2.7.2.3. Datos generales del entrepiso. ....	47
2.7.3. Entrepiso 1. ....	48
2.7.3.1. Datos generales del entrepiso. ....	48
2.7.3.2. Cálculo del cortante de diseño para el entrepiso 3. ....	49
2.7.3.3. Datos generales del entrepiso. ....	50

2.8.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA. ....	54
2.8.1.	Análisis de los pórticos planos con el programa Central. ....	57
2.8.1.1.	Interfaz gráfica y manejo de <i>CENTRAL</i> . ....	57
2.8.1.2.	Resultados del análisis de los pórticos en <i>CENTRAL</i> .....	68
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL. ....</b>	<b>72</b>
3.1.	RESEÑA HISTÓRICA DEL PROGRAMA ETABS. ....	72
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA ETABS. ....	73
3.3.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO. ....	73
3.4.	RESULTADOS. ....	114
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE DATOS. ....</b>	<b>114</b>
4.1.	COMPARACIÓN DE DATOS. ....	114
4.2.	ANÁLISIS DE DATOS. ....	119
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>123</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>125</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS. ....</b>	<b>128</b>

## LISTA DE IMÁGENES.

Imagen 1. Estructura aporricada de 3 niveles en concreto reforzado con irregularidad en planta tipo 2P según NSR-10. ....	15
Imagen 2. Espectro elástico de diseño para Colombia. Sec. A.2.6. NSR-10. ....	18
Imagen 3. Espectro elástico de diseño de la estructura. ....	22
Imagen 4. Sistema de entrepiso. ....	23
Imagen 5. Irregularidad tipo 2P Según NSR-10. (Figura A.3-1 Irregularidades en planta. Capítulo A-3). ....	24
Imagen 6. Dimensiones mínimas para losas nervadas 1. Según C.8.13.2. ....	27
Imagen 7. Dimensiones mínimas para losas nervadas 2. Según C.8.13.6.1. ....	27
Imagen 8. Dimensiones mínimas para losas nervadas 2. Según C.8.13.3. ....	28
Imagen 9. Dimensionamiento de la losa. ....	28
Imagen 10. Configuración del entrepiso de la estructura. ....	35
Imagen 11. Centro de torsión del Entrepiso 3. ....	42
Imagen 12. Centro de torsión del Entrepiso 2. ....	45
Imagen 13. Centro de torsión del Entrepiso 1. ....	48
Imagen 14. Cortantes de diseño para el Pórtico 1. ....	54
Imagen 15. Cortantes de diseño para el Pórtico 2. ....	54
Imagen 16. Cortantes de diseño para el Pórtico 3. ....	55
Imagen 17. Cortantes de diseño para el Pórtico A. ....	55
Imagen 18. Cortantes de diseño para el Pórtico B. ....	56
Imagen 19. Cortantes de diseño para el Pórtico C. ....	56
Imagen 20. Cortantes de diseño para el Pórtico D. ....	57
Imagen 21. Interfaz gráfica de CENTRAL, menú principal. ....	58
Imagen 22. Entrada de Datos. ....	58
Imagen 23. Entrada de datos automática. ....	59
Imagen 24. Numeración de los nudos. ....	59
Imagen 25. Numeración de elementos. ....	60
Imagen 26. Módulo de elasticidad y geometría de las secciones. ....	60
Imagen 27. Secciones de los elementos. ....	61
Imagen 28. Coordenadas de los nudos del pórtico. ....	61
Imagen 29. Propiedades de los elementos. ....	61
Imagen 30. Salir al menú principal del programa <i>CENTRAL</i> . ....	62
Imagen 31. Análisis Lineal y Elástico (opción #2). ....	62
Imagen 32. Selección de la opción: <i>ENTRADA DE CARGAS [ESTADOS BÁSICOS] AUTOMAT (#2)</i> . ....	63
Imagen 33. Detalles de carga. ....	63
Imagen 34. Captura de cargas laterales. ....	64
Imagen 35. Opción, <i>ANALISIS DEL PORTICO</i> . ....	64
Imagen 36. Resultados del análisis de la estructura (1). ....	65
Imagen 37. Resultados del análisis de la estructura (2). ....	65
Imagen 38. Resultados del análisis de la estructura (3). ....	65
Imagen 39. Resultados del análisis de la estructura (4). ....	66
Imagen 40. Opción 6, <i>CALCULO DE RIGIDEZ DE PISO</i> . ....	66
Imagen 41. Cálculo de la rigidez de piso, Método de la rigidez. ....	66
Imagen 42. Opción 5, <i>COMBINACIONES DE ESTADO DE CARGA</i> . ....	67
Imagen 43. Impresión de resultados. ....	67
Imagen 44. Ventana de configuración de la estructura. ....	73
Imagen 45. Custom Grid Spacing. ....	73
Imagen 46. Opciones de referencia para los ejes. ....	74
Imagen 47. <i>Define Grid Data</i> . ....	75
Imagen 48. Estructura alámbrica. ....	76

Imagen 49. Propiedad de materiales. ....	77
Imagen 50. Información de las propiedades del material. ....	77
Imagen 51. Opción <i>Frame Section</i> . ....	78
Imagen 52. Propiedades de la sección. ....	79
Imagen 53. Sección Rectangular. ....	80
Imagen 54. Opciones de refuerzo para columnas. ....	81
Imagen 55. Refuerzo de viga. ....	82
Imagen 56. <i>Define Wall/Slab/Deck Section</i> . ....	83
Imagen 57. <i>Wall/Slab Section</i> . ....	84
Imagen 58. <i>Draw Lines</i> . ....	85
Imagen 59. <i>Properties Objects</i> . ....	86
Imagen 60. Opción <i>Create Columns in Region or at Click (Plan)</i> . ....	87
Imagen 61. Designación de columnas. ....	88
Imagen 62. <i>Draw Rectangular Areas (Plan, Elev, 3D)</i> . ....	89
Imagen 63. Asignación de elemento tipo losa. ....	90
Imagen 64. Losa asignada para los entresijos. ....	91
Imagen 65. Restricción de los apoyos. ....	92
Imagen 66. Apoyo empotrado. ....	93
Imagen 67. <i>Shell/Area Loads</i> . ....	94
Imagen 68. Carga de entresijos 1 y 2. ....	95
Imagen 69. Carga de Cubierta. ....	96
Imagen 70. Cálculo del centro de rigidez (Asignación del tipo de diafragma). ....	97
Imagen 71. Ventana <i>Assign Diaphragm</i> . ....	98
Imagen 72. <i>Diaphragm Data (Assign Diaphragm)</i> . ....	99
Imagen 73. Centro de Rigidez. ....	99
Imagen 74. <i>Check Model</i> . ....	100
Imagen 75. <i>Check Model Message</i> . ....	101
Imagen 76. <i>Static Load Cases</i> . ....	102
Imagen 77. <i>Define Static Load Case Names</i> . ....	102
Imagen 78. Definición de SDEAD. ....	103
Imagen 79. Creación de la carga de sismo en dirección "X". ....	104
Imagen 80. <i>User Defined Seismic Loading</i> . ....	105
Imagen 81. Sismo en "X" con excentricidad negativa, SXEN. ....	106
Imagen 82. Cargas que actúan en la estructura. ....	107
Imagen 83. <i>Load Combination Data</i> . ....	108
Imagen 84. Envoltorio de los casos de sismo. ....	109
Imagen 85. Combinaciones de Carga total. ....	110
Imagen 86. Ventana de <i>Analysis Options</i> . ....	110
Imagen 87. <i>Run Analysis</i> . ....	111
Imagen 88. <i>Show Tables</i> . ....	112
Imagen 89. <i>Choose tables for display</i> . ....	112
Imagen 90. Resultados análisis pórtico 1. Diagramas de Momento 2-2 Envoltorio. ....	113
Imagen 91. Resultados análisis pórtico 1. Valores de Momento 2-2 Envoltorio. ....	113
Imagen 92. Numeración de nudos y elementos del pórtico 1. ....	114
Imagen 93. Gráfica comparativa de los momentos positivos del Pórtico 1. ....	115
Imagen 94. Gráfica comparativa de los momentos negativos del Pórtico 1. ....	116
Imagen 95. Gráfica comparativa de la fuerza cortante del Pórtico 1. ....	117
Imagen 96. Gráfica comparativa de la fuerza axial del Pórtico 1. ....	118
Imagen 97. Ilustración del elemento en común entre los pórticos 1 y B. ....	119

## LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Descripción de los parámetros sísmicos de la zona. ....	16
Tabla 2. Definición de los movimientos sísmicos de diseño. Apéndice A-4 NSR-10. ....	16
Tabla 3. Descripción de las variables. ....	17
Tabla 4. Condiciones del valor del espectro de diseño. ....	20
Tabla 5. Periodos de vibración de la estructura. ....	20
Tabla 6. Dimensiones de vigas y columnas de la edificación. ....	22
Tabla 7. Dimensiones de la estructura según la norma. ....	24
Tabla 8. Dimensiones mínimas para configurar la irregularidad en plata tipo 2P. ....	24
Tabla 9. Alturas o espesores mínimos de vigas no pre esforzadas o losas reforzadas en una dirección, a menos que se calculen las deflexiones. (Tabla C.9.5(a) de la NSR-10 (TABLA 1)). ....	26
Tabla 10. Espesor Mínimo de la losa. ....	26
Tabla 11. Cálculo de cargas de entrepiso. ....	29
Tabla 12. Magnitudes de los elementos de la estructura. ....	30
Tabla 13. Pesos totales de elementos estructurales. ....	30
Tabla 14. Cálculo de las cargas de Cubierta. ....	31
Tabla 15. Magnitudes de los elementos de la estructura para evaluación de la masa de la cubierta. ....	31
Tabla 16. Pesos totales de los elementos de la estructura para evaluación de la masa de la cubierta. ....	32
Tabla 17. Repartición de cortante basal ( $V_s$ ). ....	34
Tabla 18. Cálculo de las rigideces de los elementos estructurales de cada pórtico. ....	37
Tabla 19. Sumatoria de rigideces de vigas y columnas. ....	38
Tabla 20. Rigidez de cada entrepiso. ....	39
Tabla 21. Resultados por cada entrepiso. Pórtico D. ....	40
Tabla 22. Resultados por cada entrepiso. Pórticos 2 y 3. ....	40
Tabla 23. Resultados por cada entrepiso. Pórtico 1. ....	40
Tabla 24. Centros de rigidez de cada entrepiso. ....	41
Tabla 25. Información general entrepiso 3. ....	42
Tabla 26. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X). ....	43
Tabla 27. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y). ....	43
Tabla 28. Efecto de sismo en dirección X. ....	43
Tabla 29. Efecto de sismo en dirección Y. ....	44
Tabla 30. Cortante de diseño en dirección X. ....	44
Tabla 31. Cortante de diseño en dirección Y. ....	44
Tabla 32. Información general del Entrepiso 2. ....	45
Tabla 33. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X). ....	46
Tabla 34. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y). ....	46
Tabla 35. Efecto de sismo en dirección X. ....	46
Tabla 36. Efecto de sismo en dirección Y. ....	47
Tabla 37. Cortante de diseño en dirección X. ....	47
Tabla 38. Cortante de diseño en dirección Y. ....	47
Tabla 39. Información general del Entrepiso 1. ....	48
Tabla 40. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X). ....	49
Tabla 41. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y). ....	49
Tabla 42. Efecto de sismo en dirección X. ....	49
Tabla 43. Efecto de sismo en dirección Y. ....	50
Tabla 44. Cortante de diseño en dirección X. ....	50
Tabla 45. Cortante de diseño en dirección Y. ....	50
Tabla 46. Convenciones. ....	51
Tabla 47. Momentos resultantes del Pórtico 1. ....	114
Tabla 48. Fuerza cortante resultante del pórtico 1. ....	116



Tabla 49. Fuerza axial resultante del Pórtico 1. ....119  
Tabla 50. Valores del elemento en común entre los pórticos 1 y B. ....121

## RESUMEN

Esta investigación se basa en la comparación de dos métodos de análisis estructural de una edificación con sistema de pórticos resistentes a momentos en concreto reforzado de tres niveles con irregularidad en planta de retrocesos en las esquinas, tipo 2P, según la Norma Colombiana de sismoresistencia NSR-10.

La comparación se realizó bajo los siguientes criterios de análisis:

- Pseudo tridimensional
- tridimensional

Mediante el primer criterio se analiza la estructura en dos direcciones, realizando un análisis manual donde se dimensiona la estructura de acuerdo con la norma sismoresistente vigente y se distribuyen o reparten las cargas sísmicas a través de todo el sistema de resistencia sísmica, posteriormente, se analizan en el programa *CENTRAL*, en un sistema de coordenadas X, Y e Z, primero los pórticos en dirección X y luego en dirección Y, posteriormente se acoplan para obtener la información total del comportamiento de la estructura; bajo el segundo criterio se obtiene la información de la totalidad de la estructura al mismo tiempo, utilizando el programa *Etabs®*, el cual basa su funcionamiento en el método de elementos finitos (MEF). Básicamente se compara el modo tradicional de análisis estructural, el cual se dicta en el pregrado del programa de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, en el cual se toma la estructura y se divide en pórticos planos, uno por uno, y se determinan sus reacciones, haciendo previamente una distribución de las cargas con métodos aproximados, contra el método más reciente y globalizado, en el cual utilizan programas de computador, de grandes compañías a nivel mundial, que toman la estructura como un todo y la analizan con métodos como el de Elementos Finitos (MEF) o el Análisis Matricial de Estructuras (AME).

## INTRODUCCION

En la práctica de la ingeniería es común presentar los diseños estructurales de una edificación, bajo criterios: pseudo-tridimensionales y tridimensionales; los cuales se apoyan en los siguientes métodos de análisis del sistema de resistencia sísmica para efectos de diseño, reconocidos por la norma sismo Resistente NSR-10:

- (a) Método de la fuerza horizontal equivalente, el cual está descrito en el Capítulo A.4,
- (b) Métodos de análisis dinámico elástico, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.5,
- (c) Métodos de análisis dinámico inelástico, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.5, y
- (d) Métodos de análisis alternos, los cuales deben tener en cuenta las características dinámicas de la edificación, el comportamiento inelástico de los materiales, y deben ser de aceptación general en la ingeniería.

El análisis pseudo-tridimensional consiste en el estudio de la estructura en diferentes planos, los cuales se superponen para obtener las reacciones, esfuerzos y demás valores representativos del comportamiento de la edificación bajo las cargas de servicio y bajo los parámetros de diseño de la norma colombiana. Para el caso de estudio nos concentraremos en aplicar el Método de la fuerza horizontal equivalente, atendiendo a los requisitos de la NSR-10 sección A.3.4.2.3.

El análisis tridimensional se viene realizando desde los años sesenta. En el marco de un programa espacial, (el programa APOLLO de la agencia espacial NASA), surgió la necesidad de disponer de un instrumento de análisis estructural automatizado, general y potente; así nació el programa de ordenador para análisis

estructural por el método de los elementos finitos llamado NASTRAN<sup>1</sup>. Con la aparición de estos sistemas, se ha venido revolucionando el mercado de la ingeniería, y hoy se tiene una variada gama de programas que realizan los análisis de manera muy detallada, arrojando una serie de datos que son base de los diseños estructurales de las edificaciones de hoy en día, como lo son Etabs y Sap2000. Estos software utilizan el método de los elementos finitos, el cual es un método numérico ampliamente utilizado no solo en la mecánica estructural, sino en las ciencias en general, donde son ampliamente usados en la investigación y en la solución de problemas relacionados con la mecánica del medio continuo.

Cuando las entidades del estado y empresas privadas necesitan realizar una obra civil, exigen, según la normatividad colombiana, planos y memorias de cálculo. La norma se refiere a las memorias de los diseños estructurales, de cualquier obra civil, de la siguiente manera, en el literal A.1.5.3.1:

— *Memorias estructurales* — *Los planos estructurales que se presenten para obtener la licencia de construcción deben ir acompañados de la memoria justificativa de cálculos, firmada por el Ingeniero que realizó el diseño estructural. En esta memoria debe incluirse una descripción del sistema estructural usado, y además deben anotarse claramente las cargas verticales, el grado de capacidad de disipación de energía del sistema de resistencia sísmica, el cálculo de la fuerza sísmica, **el tipo de análisis estructural utilizado** y la verificación de que las derivas máximas no fueron excedidas. **Cuando se use un equipo de procesamiento automático de información, además de lo anterior, debe entregarse una descripción de los principios bajo los cuales se realiza el modelo digital y su análisis estructural y los datos de entrada al procesador automático debidamente identificados.** Los datos de salida pueden utilizarse para ilustrar los resultados y pueden incluirse en su totalidad en un anexo a las*

---

<sup>1</sup> APLICACION DE LAS TECNICAS DE DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR A LA CONCEPCION DE ESTRUCTURAS PARA SATELITES ESPACIALES. GOMEZ MOLINERO, Vicente. Revista Internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería. Vol 2,4. Pág. 367-378. 1986.

*memorias de cálculo, pero no pueden constituirse en sí mismos como memorias de cálculo, requiriéndose de una memoria explicativa de su utilización en el diseño.*

De esta manera podemos observar que la norma reconoce a los programas de computador como parte de los mecanismos para realizar tal tarea; y advierte que sea cual sea el software utilizado, debe mencionarse bajo que principios o fundamentos trabaja.

Esta investigación se realiza, entonces, con el fin de comprender y comparar los resultados de la utilización de software estructural tridimensional y aquellos que utilizan parámetros tradicionales de análisis estructural bidimensional acoplado, estos últimos enseñados desde siempre en las cátedras de pregrado en Ingeniería Civil, ofreciendo un entendimiento práctico y directo entre el ingeniero y el problema estructural. En contraste obtenemos datos de un proceso automático realizado por un ordenador, bajo parámetros ingenieriles de punta como lo son los elementos finitos y el análisis matricial tridimensional, con cálculos numéricos posiblemente más eficientes, pero complejos de entender y manipular, en lo cual el ingeniero y a un el calculista con experiencia podría no alcanzar a comprender en su totalidad, consiguiendo en algunos casos dejar sin juicio firme al proyectista.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

- Comparar los resultados que arroja el análisis pseudotridimensional y tridimensional respecto al comportamiento estructural de una edificación aporticada con irregularidades tipo 2P de acuerdo a la Norma Sismorresistente vigente en Colombia (NSR-10).

### 1.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

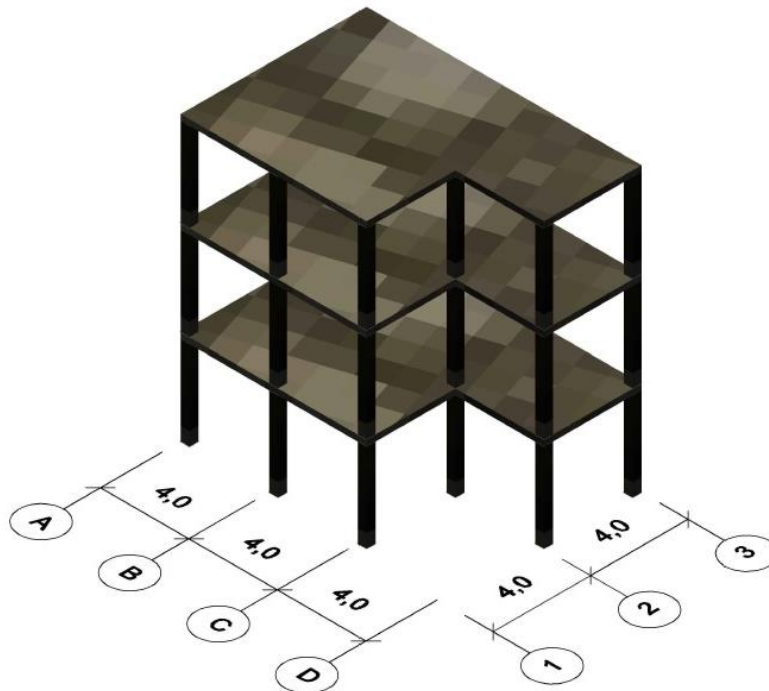
- Analizar una estructura aporticada con irregularidad Tipo 2P, en concreto reforzado de tres pisos, con el método tradicional en dos dimensiones.
- Analizar la misma estructura en tres dimensiones con ayuda de programas computarizados como Etabs o Sap2000, bajo las mismas condiciones de materiales y de sitio.
- Comparar los datos estadísticamente, y determinar la variabilidad del comportamiento bajo los dos sistemas de análisis.

## 2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA BAJO EL CRITERIO TRADICIONAL (PSEUDO-TRIDIMENSIONAL)

En este capítulo se pretende realizar un análisis a una estructura aporticada de tres niveles en concreto reforzado con irregularidad en planta tipo 2P, clasificación basada en la norma sismo resistente vigente en Colombia (Imagen 1), por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente (FHE).

El primer análisis, de los dos tipos que se realizarán, se trabajará bajo el primer criterio, el cual pretende determinar los efectos de la estructura, primero en una dirección y luego en la otra, y así determinar para cada elemento resistente (pórticos) el valor del cortante sísmico de diseño, tal cual se muestra en la siguiente gráfica:

Imagen 1. Estructura aporticada de 3 niveles en concreto reforzado con irregularidad en planta tipo 2P según NSR-10



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Victor Renán. Estructura aporticada de 3 niveles en concreto reforzado con irregularidad en planta tipo 2P según NSR-10.

## 2.1. DATOS GENERALES DE LA REGIÓN.

Para poder determinar la resistencia de los elementos estructurales de la edificación, es necesaria la descripción de los parámetros sísmicos de la zona, ya que estos definen, el cortante basal, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 1. Descripción de los parámetros sísmicos de la zona.

<b>Tipo de Estructura</b>	Aporticada (Pórticos resistentes a momentos)
<b>Material</b>	Concreto reforzado
<b>Localización geográfica</b>	Popayán
<b>Zona de amenaza sísmica</b>	Alta

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Victor Renán. Descripción de los parámetros sísmicos de la zona.

Tabla 2. Definición de los movimientos sísmicos de diseño. Apéndice A-4 NSR-10

<b>Definición de los movimientos sísmicos de diseño. Apéndice A-4. NSR-10</b>	
<b>Coeficiente de aceleración pico efectiva, Aa</b>	0.25
<b>Coeficiente de velocidad pico efectiva, Av</b>	0.20



<b>Grupo de Uso</b>	I
<b>Coeficiente de importancia, I</b>	1.00
<b>Coeficiente de amplificación, Fa</b>	1.30
<b>Coeficiente de amplificación, Fv</b>	2.00

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Victor Renán. Definición de los movimientos sísmicos de diseño. Apéndice A-4  
NSR-10

## 2.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL SÍSMICO POR EL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

Para el análisis se debe determinar cuál es el cortante basal (Sec. A.4.3.1.), el cual representa la fuerza sísmica que llega a la estructura, representada por un porcentaje de la masa de la edificación.

$$V_s = S_a \times g \times M$$

De la fórmula anterior se tiene que M es la masa del edificio en kilogramos, g es la aceleración de la gravedad y Sa es el valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado, como se ilustra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Descripción de las variables.

<b>M</b>	Masa del edificio, [Kg]
<b>g</b>	aceleración de la gravedad
<b>Sa</b>	Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado.

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Victor Renán. Descripción de las variables.

Para determinar el valor del espectro de aceleraciones  $S_a$ , se requiere identificar el periodo de vibración de la estructura ( $T_a$ ) con la siguiente ecuación, para estructuras aporricadas en concreto:

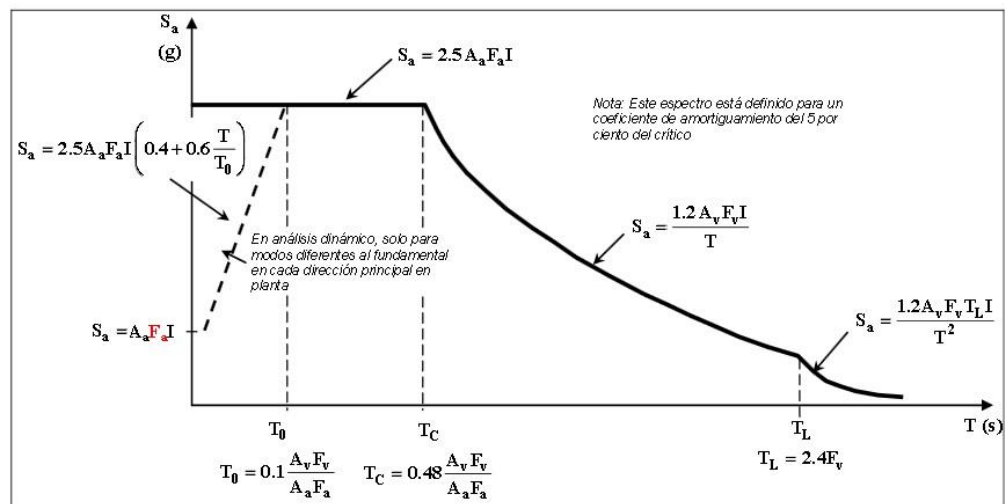
$$T_a = C_t \times h_n^\alpha \text{ NSR-10, Sec. A.4.2.2}$$

En la fórmula trazada se tiene que  $h$ , es la altura total de la estructura desde la base ( $m$ ), para la estructura en cuestión la altura total es de 9m.

$C_t$  tiene un valor de 0,047 para pórticos resistentes de concreto reforzado y  $\alpha = 0,9$  (NSR 10, Tabla A.4.2-1).

Calculado el periodo de vibración de la estructura se determina de la siguiente manera el valor de  $S_a$ , tomado de la Sección A.2.6.NSR-10:

Imagen 2. Espectro elástico de diseño para Colombia. Sec. A.2.6. NSR-10



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_a](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_a)

Los valores del espectro de aceleraciones ( $S_a$ )<sup>2</sup>, para los distintos periodos de vibración son los siguientes:

Cuando,  $T_a = 0$

$$S_a = A_a * F_a * I \quad , (1)$$

Cuando,  $T_a < T_o$

$$S_a = 2.5 * A_a * F_a * I * (0.4 + 0.6 * \frac{T}{T_o}) \quad , (2)$$

Cuando,  $T_o \leq T_a \leq T_c$

$$S_a = 2.5 * A_a * F_a * I \quad , (3)$$

Cuando,  $T_c < T_a \leq T_L$

$$S_a = \frac{1.2 * A_v * F_v * I}{T} \quad , (4)$$

Cuando,  $T_a > T_L$

$$S_a = \frac{1.2 * A_v * F_v * T_L * I}{T^2} \quad , (5)$$

El período de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones ( $T_o$ ). Según A.2.6-6 NSR-10 se determina con la siguiente fórmula:

$$T_o = 0,1 \times \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

El Periodo de vibración<sup>3</sup>, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo ( $T_c$ ): Según A.2.6-2 NSR-10, es el siguiente:

$$T_c = 0,48 \times \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

---

<sup>2</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sísmoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_a](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_a)

<sup>3</sup> Op cit.

El período de vibración, correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para períodos largos. ( $T_L$ ). Según A.2.6-4 NSR-10 se puede calcular teniendo en cuenta la fórmula que se muestra a continuación:

$$T_L = 2,4 * F_V$$

Por lo tanto, el valor del espectro de diseño se ajusta a las siguientes condiciones:

Tabla 4. Condiciones del valor del espectro de diseño.

$T_0$	0.12
$T_c$	0.59
$T_L$	4.80
$T_a$	0.34

Fuente: CASTILLO NÁNEZ, Víctor Renán. Condiciones del valor del espectro de diseño.

Así, el espectro de aceleraciones ( $S_a$ ) tiene un valor de 0.8123.

De esta manera podemos deducir el espectro de diseño sísmico, en base a la siguiente tabla, en la cual se tabulan las fórmulas de los periodos de vibración de la estructura.

Tabla 5. Periodos de vibración de la estructura.

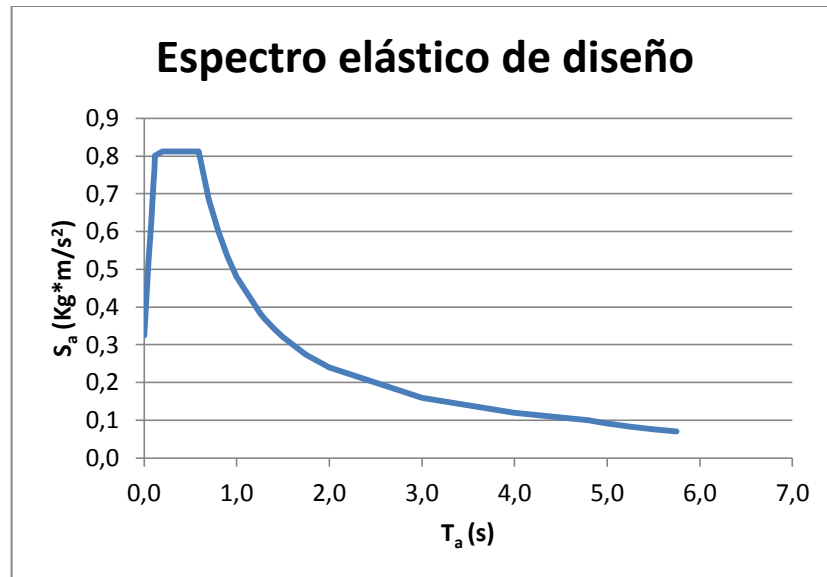
Periodo de vibración	T	Sa (%)	Sa (G)
< $T_0$	0.000	0.325	3.250
	0.025	0.424	4.240
	0.050	0.523	5.230
	0.075	0.622	6.221
	0.100	0.721	7.211
	0.110	0.761	7.607
	0.120	0.800	8.003
< $T_c$	0.200	0.813	8.125

	0.450	0.813	8.125
	0.500	0.813	8.125
	0.550	0.813	8.125
	0.590	0.813	8.125
<T <sub>L</sub>	0.600	0.800	8.000
	0.700	0.686	6.857
	0.800	0.600	6.000
	0.900	0.533	5.333
	1.000	0.480	4.800
	1.250	0.384	3.840
	1.300	0.369	3.692
	1.400	0.343	3.429
	1.500	0.320	3.200
	1.750	0.274	2.743
	2.000	0.240	2.400
	3.000	0.160	1.600
	4.000	0.120	1.200
	4.800	0.100	1.000
>T <sub>L</sub>	4.900	0.096	0.960
	5.000	0.092	0.922
	5.250	0.084	0.836
	5.500	0.076	0.762
	5.750	0.070	0.697

Fuente: CASTILLO NÁNEZ, Víctor Renán. Periodos de vibración de la estructura.

De esta manera se realiza la gráfica del espectro elástico de la estructura:

Imagen 3. Espectro elástico de diseño de la estructura.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renan. Espectro elástico de diseño de la estructura.

### 2.3. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL EDIFICIO

Para realizar el análisis, se debe determinar la masa del edificio, por lo cual se identificaron los tipos de elementos estructurales de resistencia sísmica que se tienen en la edificación, en este caso está compuesta por vigas y columnas en concreto reforzado, cuyas dimensiones se presentan a continuación:

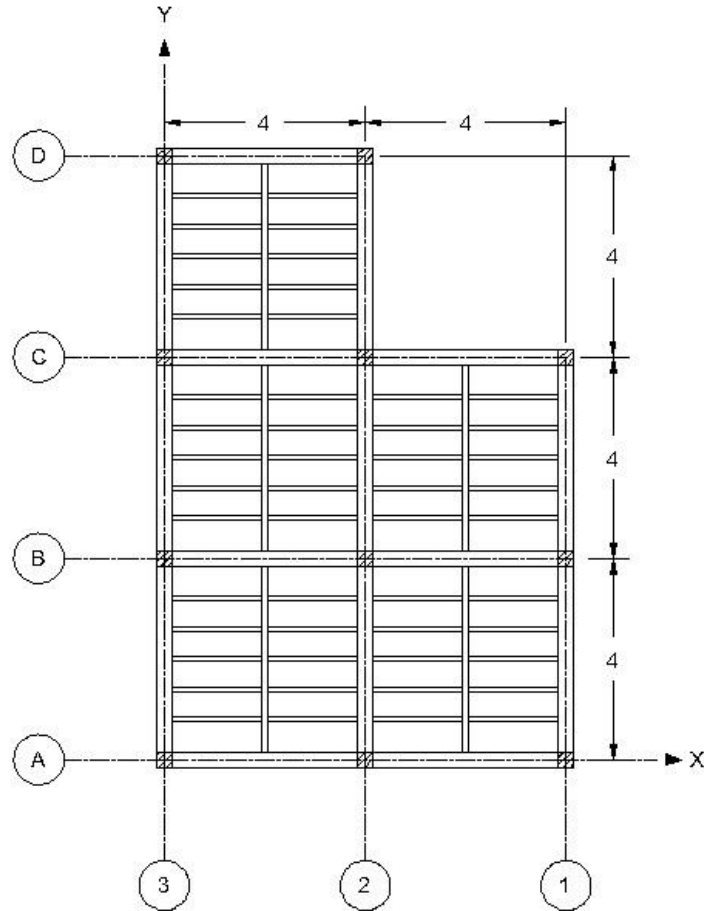
Tabla 6. Dimensiones de vigas y columnas de la edificación.

<b>Dimensiones</b>	<b>B</b>	<b>h</b>
Vigas	0.30	0.30
Columnas	0.30	0.30

CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Dimensiones de vigas y columnas de la edificación.

Para determinar mejor el diseño en planta de la edificación, se presenta la distribución espacial de la losa de entrepiso utilizada en la siguiente ilustración:

Imagen 4. Sistema de entrepiso.

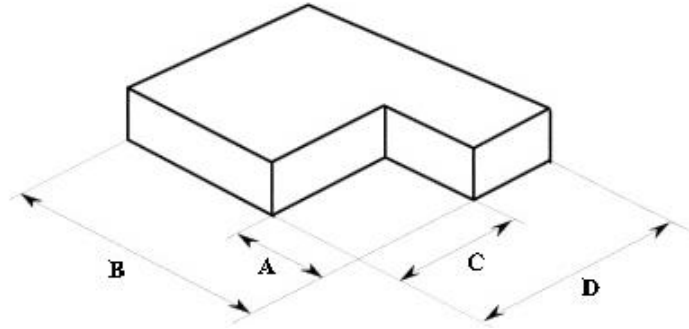


Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Sistema de entrepiso.

Como se puede observar en la imagen, el sistema de entrepiso tiene retrocesos en las esquinas que, según la norma sismo-resistente, se debe evaluar si corresponde a la irregularidad tipo 2P, dicho análisis se representa en la siguiente imagen:

Imagen 5. Irregularidad tipo 2P Según NSR-10. (Figura A.3-1 Irregularidades en planta. Capítulo A-3).

**Tipo 2P — Retrocesos en las esquinas —  $\phi_p = 0.9$**   
 **$A > 0.15B$  y  $C > 0.15D$**



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_a](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_a)

Para la estructura en mención se tienen las dimensiones de la norma que se muestran a continuación:

Tabla 7. Dimensiones de la estructura según la norma.

<b>A</b>	4
<b>B</b>	12
<b>C</b>	4
<b>D</b>	8

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Tabla Dimensiones de la estructura según la Norma.

Aplicando los requisitos de la norma se tiene que  $0,15B$  equivale a 1.8 y que  $0,15D$  por su parte es de 1.2:

Tabla 8. Dimensiones mínimas para configurar la irregularidad en planta Tipo 2P

<b>0,15B</b>	1.8
<b>0,15D</b>	1.2



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Dimensiones mínimas para configurar la irregularidad en planta  
Tipo 2P

Comparando los datos de la estructura con lo exigido por la norma se tiene la siguiente fórmula:

$$\mathbf{A > 0,15B \text{ y } C > 0,15D}$$

De todos los resultados que se han mostrado hasta aquí, se puede deducir que la estructura clasifica en la irregularidad en planta tipo 2P, tal como lo exige el Reglamento colombiano sismoresistente NSR-10.

### 2.3.1. Dimensionamiento de la losa de entrepiso.

Para poder determinar la masa del edificio se deben dimensionar todos los componentes de la estructura, entre ellos están las losas de entrepiso. Estas losas, en este caso se determinan como aligeradas, aunado a esto para el análisis se considera que el sistema de entrepiso cuenta con rigidez infinita en su plano, además, solo se consideran las deformaciones por flexión.

Para dimensionar una losa, la norma indica cuál debe ser el espesor mínimo en la siguiente tabla.

Tabla 9. Alturas o espesores mínimos de vigas no pre esforzadas o losas reforzadas en una dirección, a menos que se calculen las deflexiones. (Tabla C.9.5(a) de la NSR-10 (TABLA 1)).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elemento que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$L / 20$	$L / 24$	$L / 28$	$L / 10$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$L / 16$	$L / 18.5$	$L / 21$	$L / 8$
h: Espesor total o altura de un elemento				
L : Luz de la viga o losa en una dirección; proyección libre del voladizo.				

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_c](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_c)

De esta manera para una losa con las dimensiones establecidas en la Imagen 9, con ambos extremos continuos, con vigas o losas nervadas en una dirección, se tiene el siguiente espesor mínimo:

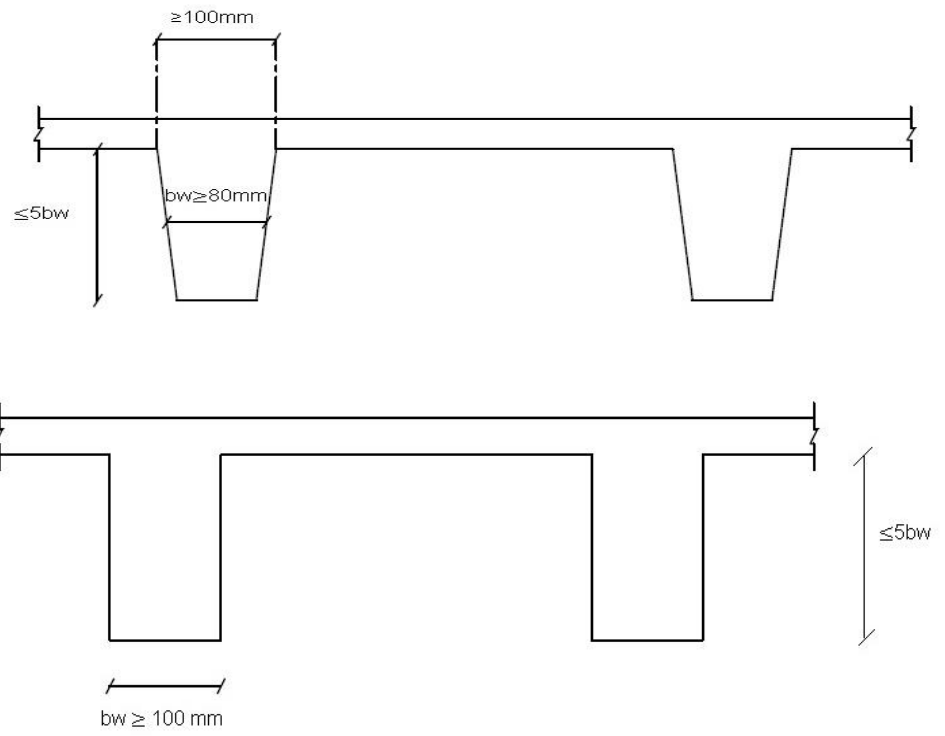
Tabla 10. Espesor Mínimo de la losa.

Dimensión	Magnitud (m)
<b>L</b>	4.00
<b>h<sub>mínimo</sub></b>	0.19

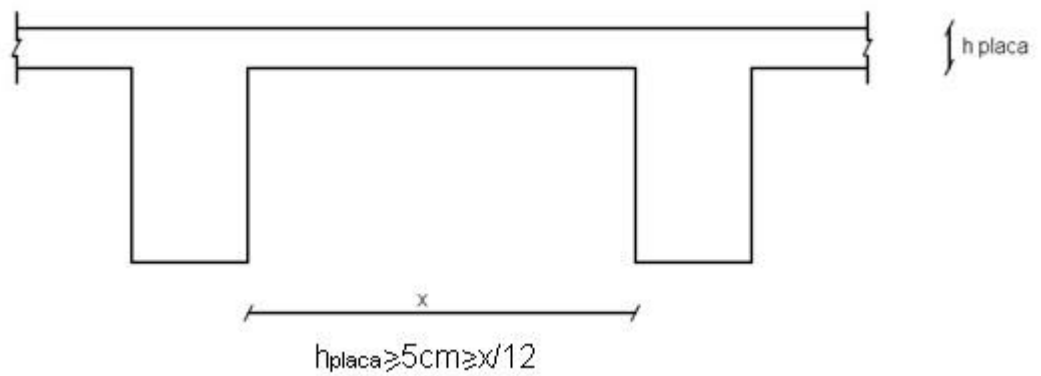
CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Tabla que muestra el Espesor Mínimo de la Losa.

Además de los requisitos de la norma en cuanto a alturas o espesores, se tienen los siguientes requisitos dimensionales (Sección C.13. Sistemas de losas en 1 y 2 direcciones; Sección C.8.13 Viguetas en losas nervadas):

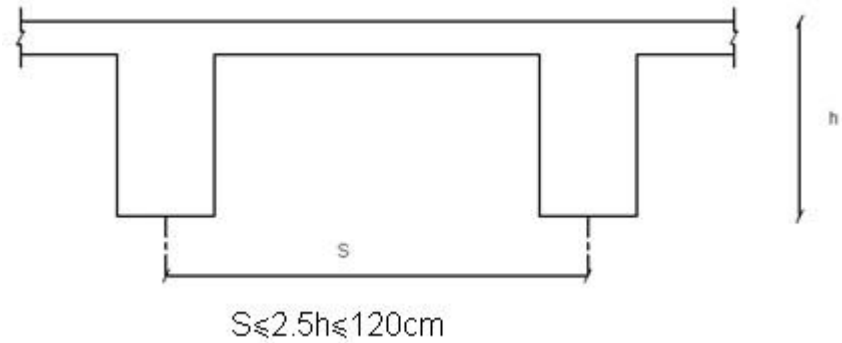
a) Imagen 6. Dimensiones mínimas para losas nervadas 1. Según C.8.13.2



b) Imagen 7. Dimensiones mínimas para losas nervadas 2. Según C.8.13.6.1.



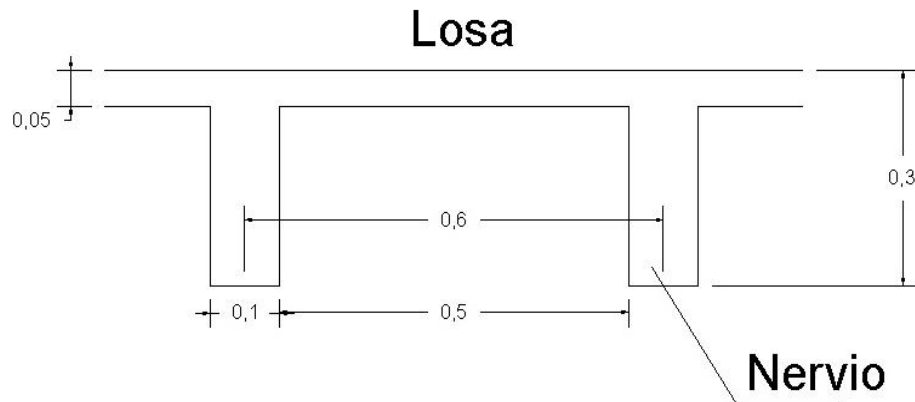
c) Imagen 7. Dimensiones mínimas para losas nervadas 2. Según C.8.13.3



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cálculo de cargas de entepiso. Basado en: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_c](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_c)

El dimensionamiento de la losa queda de la siguiente manera, ajustándose a los parámetros básicos de diseño sismoresistente:

Imagen 9. Dimensionamiento de la losa.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Dimensionamiento de la losa

### 2.3.2. Cálculo de cargas de entrepiso.

Los materiales utilizados en las divisiones y la fachada son tradicionales, mampostería. Para realizar el cálculo de cargas de entrepiso se tomarán los siguientes valores, descripciones, medidas y cantidades:

Tabla 11. Cálculo de cargas de entrepiso.

<b>Cálculo de Cargas de entrepiso</b>				
<b>Peso Propio</b>				
	<b>KN/m<sup>3</sup></b>	<b>e</b>	<b>ancho</b>	<b>KN/m<sup>2</sup></b>
<b>Losa</b>	24.00	0.05		1.20
<b>Nervio</b>	24.00	0.25	0.1	1.00
<b>Casetón</b>				0.30
<b>Acabados</b>	Según NSR-10, Sec. B.3.4.3			1.60
<b>Muros</b>	Según NSR-10, Sec. B.3.4.3			3.00
<b>Total Carga muerta de servicio (KN/m<sup>2</sup>)</b>				<b>7.10</b>

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cálculo de cargas de entrepiso. Basado en: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sísmoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_b](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_b)

Es decir, la carga viva de servicio en KN/m<sup>2</sup> (NSR-10, Sec. B.4.2.1) equivale a un **1.8**.

#### 2.3.2.1. Evaluación de la masa de los entrepisos

Para la evaluación de la masa del entrepiso se debe obtener las magnitudes de los elementos de la estructura, como el área de la losa y las longitudes de las vigas y de las columnas de los entrepisos, los cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Magnitudes de los elementos de la estructura.

<b>ENTREPISO 1 y 2</b>		
<b>Área de la losa</b>	80.00	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Longitud de vigas</b>	60.00	<b>m</b>
<b>Longitud de columnas</b>	33.00	<b>m</b>
<b>Área columnas</b>	0.09	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Área Vigas</b>	0.08	<b>m<sup>2</sup></b>

Fuente: CASTILLO NÁÑEZ, Víctor Renán. Magnitudes de los elementos de la estructura.

Es así que se obtienen los pesos totales de los elementos estructurales en KN:

Tabla 13. Pesos totales de elementos estructurales

<b>Elemento</b>	<b>Peso (KN)</b>
<b>Vigas</b>	108.00
<b>Columnas</b>	71.28
<b>Losa</b>	568.00
<b>Total</b>	747.28

Fuente: CASTILLO NÁÑEZ, Víctor Renán. Pesos totales de elementos estructurales.

### 2.3.3. Cálculo de cargas de cubierta.

Para el caso de la cubierta se tiene la misma losa de entrepiso, sin embargo, se debe diferenciar de los entrepisos 1 y 2, por cuanto este entrepiso no posee cargas debido a los muros divisorios.

Tabla 14. Cálculo de las cargas de Cubierta.

<b>Cálculo de Cargas de Cubierta</b>				
<b>Peso Propio</b>				
	<b>KN/m3</b>	<b>e</b>	<b>ancho</b>	<b>KN/m<sup>2</sup></b>
<b>Losa</b>	24.00	0.05		1.20
<b>Nervio</b>	24.00	0.25	0.1	1.00
<b>Casetón</b>				0.30
<b>Acabados</b>	Según NSR-10, Sec. B.3.4.3			1.60
<b>Total Carga muerta de servicio (KN/m<sup>2</sup>)</b>				<b>4.10</b>

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cálculo de las cargas de Cubierta. Basado en: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sísmoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_b](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_b)

### 2.3.3.1. Evaluación de la masa de la cubierta

Para la evaluación de la masa de la cubierta se debe obtener las magnitudes de los elementos de la estructura, como el área de la losa y las longitudes de las vigas y de las columnas de los entrepisos.

Tabla 15. Magnitudes de los elementos de la estructura para evaluación de la masa de la cubierta.

<b>ENTREPISO 1 y 2</b>		
<b>Área de la losa</b>	80.00	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Longitud de vigas</b>	60.00	<b>m</b>
<b>Longitud de columnas</b>	16.50	<b>m</b>
<b>Área columnas</b>	0.09	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Área Vigas</b>	0.08	<b>m<sup>2</sup></b>

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Magnitudes de los elementos de la estructura para evaluación de la masa de la cubierta.

Por lo tanto, los pesos totales de los elementos estructurales en KN son los que se plasman en la siguiente tabla:

Tabla 16. Pesos totales de los elementos de la estructura para evaluación de la masa de la cubierta.

<b>Elemento</b>	<b>Peso (KN)</b>
<b>Vigas</b>	108.00
<b>Columnas</b>	35.64
<b>Losa</b>	328.00
<b>Total</b>	471.64

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Pesos totales de los elementos de la estructura para evaluación de la masa de la cubierta.

#### 2.3.4. Masa total del edificio

Después de cuantificar las masas de los entrepisos y de la cubierta, se realiza una suma de las masas para cuantificar la masa total del edificio, de tal forma que se determina el peso de un entrepiso y el peso de la cubierta, para obtener una suma de ambos valores y así calcular la masa total de la estructura:

Peso un entrepiso: 747.28 KN

Peso de la cubierta: 471.64 KN

De esta manera se tiene que el peso total del edificio es  $747.28 \times 2 + 471.64 = 1966.20$ .

Así la masa de la estructura es 196620Kg

<b>Masa total del edificio (M)</b>	<b>196620</b>	<b>Kg</b>
------------------------------------	---------------	-----------



## 2.4. CÁLCULO DEL CORTANTE DE BASE ( $V_s$ )

Para calcular el cortante de base ( $V_s$ ), es necesario obtener el valor del espectro de aceleraciones  $S_a$  y el Valor de la masa  $M$  de la estructura, en conjunto con la aceleración de la gravedad, con estos valores se allá el valor del cortante de base o basal.

$$V_s = S_a * M * g$$

$$V_s = 0.8123$$

$$M = 196620 \text{Kg}$$

$$g = 9.8 \text{m/s}^2$$

Por lo tanto el valor en KN del cortante basal es  $V_s = 1957.54 \text{KN}$

## 2.5 MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

El método de la fuerza horizontal equivalente contempla la siguiente ecuación para la repartición de cargas en los entrepisos.

$$C_{vi} = \frac{m_i \times h_i^K}{\sum_{i=1}^n (m_i \times h_i^K)} \quad \text{NSR-10 Sec. A.4.3.2}$$

Fuente: Op cit..

[www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_a](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_a)

Sección. A.4.3.2

Dónde:

$k$  es un exponente que se relaciona con el periodo fundamental de la estructura.  $T$ ,

Para  $T \leq 0,5$  segundos  $k=1,0$

Para:  $0,5 < T \leq 2,5$  segundos  $k= 0,75 + 0,5T$

Para:  $T > 2,5$  segundos  $k = 2,0$

En este caso y para la estructura en particular el periodo es  $T = 0,34$  segundos:  
Por lo tanto el  $k = 1,0$ .

Para la repartición del cortante basal ( $V_s$ ), se realiza la siguiente tabla:

Tabla 17. Repartición de cortante basal ( $V_s$ ).

Entrepiso	hi m	mi (KN)	mi hi <sup>k</sup>	Cvi	Fi (KN)	Vi (KN)
1	3.00	747.28	2241.840	0.204	326.466	1597.538
2	6.00	747.28	4483.680	0.409	652.932	1271.071
3	9.00	471.64	4244.760	0.387	618.139	618.139
$\Sigma$		1966.20	10970.280	1.000	1597.538	

Fuente: CASTILLO NÁÑEZ, Víctor Renán. Repartición de cortante basal ( $V_s$ ).

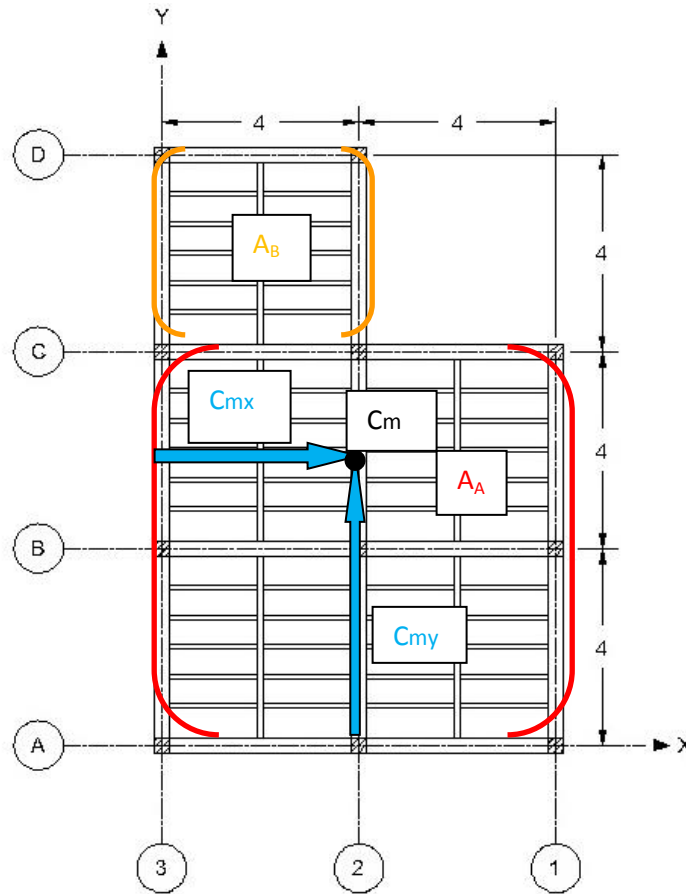
## 2.6. CÁLCULO DE LOS CENTROS DE MASA Y LOS CENTROS DE RIGIDEZ DE CADA ENTREPISO

### 2.6.1. Centro de Masa (CM)

Se define como el punto de aplicación de la fuerza sísmica en un nivel considerado. Para una distribución uniforme de la masa, el centro de masa coincide con el centro geométrico del entrepiso (centro de gravedad).

Para el cálculo del centro de masa se haya el centroide de la figura presentada en la imagen 10:

Imagen 10. Configuración del entrepiso de la estructura.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Configuración del entrepiso de la estructura.

Para el cálculo del centro de masa del entrepiso se utiliza la siguiente expresión:

$$C_{mY} = \frac{A_A \times L_{AY} + A_B \times L_{BY}}{A_A + A_B}$$

$$C_{mX} = \frac{A_A \times L_{AX} + A_B \times L_{BX}}{A_A + A_B}$$

Dónde:

$C_{mX}$  = Coordenada del centro de masa en dirección al eje X

$C_{my}$ = Coordenada del centro de masa en dirección al eje Y.

$A_A$ = Área mayor

$A_B$ = Área mayor

$L_{BX}$  o  $L_{BY}$  = Distancia al centro del área en cuestión desde el eje.

Así reemplazando los valores en las fórmulas, las coordenadas del centro de masa del entrepiso son:

$C_{mx}$ = 3.6m

$C_{my}$ = 5.2m

## 2.6.2. Centro de Rigidez (CR)

Es el punto donde debe aplicarse el cortante de entrepiso para que el movimiento de todos ellos sea exclusivamente de traslación ( $f_z = 0$ ). La localización del centro de torsión, también conocido como centro de rigidez, depende de la distribución de la rigidez de la estructura.

### 2.6.2.1 Método de Wilbur

El método de Wilbur es utilizado para calcular desplazamientos en pórticos sometidos a cargas laterales. El método se basa en la definición de rigidez de piso, la cual es la relación entre la fuerza cortante absorbida por un pórtico o muro, en un entrepiso y el desplazamiento horizontal relativo entre los dos niveles que lo limitan. El método plantea unas ecuaciones para determinar la rigidez de piso en función a las dimensiones de los elementos que conforman el pórtico, las cuales se muestran más adelante<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> BAZAN, E, y R. MELI, Manual de diseño sísmico de edificios. México. 1985. Pag 17-56

Para determinar las rigideces el método exige que se defina el Módulo de Elasticidad del concreto ( $E_c$ ), para ello se remite a la norma, en la Sección C.8.5.1, el cual menciona que el módulo se calcule de la siguiente manera:

$$E = 4700\sqrt{f'c}$$

Fuente: Op cit..

[www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10\\_titulo\\_c](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_c).

Sección. C.8.5.1

Siendo  $f'c$  la resistencia de diseño del concreto, que para el caso es 21000KPa.

En el siguiente cuadro se calculan las rigideces de los elementos estructurales de cada pórtico para, posteriormente, hallar la rigidez total del pórtico.

Tabla 18. Cálculo de las rigideces de los elementos estructurales de cada pórtico.

<b>Pórticos A, B y C</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Sección (m)</b>	<b>Long (m)</b>	<b>Inercia (m<sup>4</sup>)</b>	<b>Rigidez (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Columnas</b>	0,3x0,3	3	0.000675	0.000225
<b>Vigas</b>	0,3x0,3	4	0.000675	0.0001688

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cálculo de las rigideces de los elementos estructurales de cada pórtico.

Realizamos la sumatoria de las rigideces de vigas y columnas de cada pórtico por cada entrepiso, como se explica a continuación:

Tabla 19. Sumatoria de rigideces de vigas y columnas.

Nivel	$\sum Kv[m^3]$	$\sum Kc[m^3]$
1	0.0003375	0.000675
2	0.0003375	0.000675
3	0.0003375	0.000675

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Sumatoria de rigideces de vigas y columnas.

Después utilizamos las siguientes fórmulas establecidas por Wilbur para el cálculo de las rigideces de cada pórtico:

- Para el primer entrepiso:

$$R_1 = \frac{48E}{h_1 \left[ \frac{4h_1}{\sum K_{C1}} + \frac{h_1 + h_2}{\sum K_{V1} + \frac{\sum K_{C1}}{12}} \right]}$$

- Para el segundo entrepiso:

$$R_2 = \frac{48E}{h_2 \left[ \frac{4h_2}{\sum K_{C2}} + \frac{h_1 + h_2}{\sum K_{V1} + \frac{\sum K_{C1}}{12}} + \frac{h_2 + h_3}{\sum K_{V2}} \right]}$$

- Para el tercer entrepiso:

$$R_n = \frac{48E}{h_n \left[ \frac{4h_n}{\sum K_{Cn}} + \frac{h_m + h_n}{\sum K_{Vm}} + \frac{h_n + h_0}{\sum K_{Vn}} \right]}$$

Dónde:

- $R_n$  es la rigidez lateral del entrepiso en cuestión;
- $K_{vn}$  es la rigidez ( $I/L$ ) de las vigas del nivel sobre el entrepiso  $n$ ;
- $K_{cn}$  es la rigidez ( $I/L$ ) de las columnas del entrepiso  $n$ ;
- $m, n, o$  son los índices que identifican tres niveles consecutivos de abajo hacia arriba;
- $h_n$  es la altura del entrepiso  $n$ .

Es de aclarar que: “Para el entrepiso superior, si se acepta que el cortante del penúltimo piso sea el doble que el del último, se encuentra que es aplicable la fórmula para entrepisos intermedios, poniendo  $2h_n$  en vez de  $h_m$  y haciendo  $h_o$  igual a 0.”<sup>5</sup>

En consecuencia, la rigidez, para cada entrepiso ( $R$ ), de los pórticos A, B, C y D, es:

Tabla 20. Rigidez de cada entrepiso.

<b>R1</b>	10437.697	KN/m
<b>R2</b>	6784.503	KN/m
<b>R3</b>	6461.432	KN/m

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Rigidez de cada entrepiso.

De esta manera seguimos con los demás pórticos, y obtenemos los siguientes resultados, para cada entrepiso ( $R$ ):

---

<sup>5</sup> MALDONADO RONDON, Esperanza & CHIO CHO, Gustavo. Análisis sísmico de edificaciones. Editorial Universidad Industrial de Santander. 2004.

Tabla 21. Resultados por cada entrepiso. Pórtico D.

<b>Pórtico D</b>		
<b>R1</b>	6180.500	KN/m
<b>R2</b>	3773.934	KN/m
<b>R3</b>	3524.417	KN/m

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Resultados por cada entrepiso. Pórtico D.

Tabla 22. Resultados por cada entrepiso. Pórticos 2 y 3.

<b>Pórticos 2 y 3</b>		
<b>R1</b>	14567.592	KN/m
<b>R2</b>	9705.192	KN/m
<b>R3</b>	9304.462	KN/m

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Resultados por cada entrepiso. Pórticos 2 y 3.

Tabla 23. Resultados por cada entrepiso. Pórtico 1.

<b>Portico 1</b>		
<b>R1</b>	10437.697	KN/m
<b>R2</b>	6784.503	KN/m
<b>R3</b>	6461.432	KN/m

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Resultados por cada entrepiso. Pórtico 1.

### 2.6.3. Centros de Rigidez de cada entrepiso o centro de Torsión

El centro de rigidez se evalúa en cada entrepiso con base en el eje de coordenadas es el punto por el que debe pasar la línea de acción de la fuerza cortante sísmica para que el movimiento relativo de los dos niveles consecutivos



que limitan el entrepiso sea exclusivamente de traslación<sup>6</sup>. Para determinar las coordenadas x e y se utilizan las siguientes fórmulas:

$$X_T = \frac{\sum(R_{jy}x_j)}{\sum R_{jy}} \quad Y_T = \frac{\sum(R_{jx}y_j)}{\sum R_{jx}}$$

Dónde:

X<sub>j</sub>, Y<sub>j</sub> son las coordenadas de los elementos resistentes, siendo R<sub>j</sub> la rigidez de los pórticos.

Obteniendo, de esta manera, los siguientes centros de rigidez de cada entrepiso:

Tabla 24. Centros de rigidez de cada entrepiso.

Eje	Entrepiso 1	Entrepiso 2	Entrepiso 3
X	3.583	3.554	3.546
Y	5.319	5.251	5.231

Fuente: CASTILLO NAÑEZ, Víctor Renán. Centros de rigidez de cada entrepiso.

## 2.7. CÁLCULO DE FUERZAS PARA LA ESTRUCTURA CON EL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

En esta sección se calculará las fuerzas que actúan en cada elemento estructural, en base a la norma vigente NSR-10, donde se hayan los momentos torsores con las excentricidades positivas y negativas, en ambas direcciones obteniendo así, cuatro momentos por entrepiso M<sub>ti</sub>, de esta manera podemos establecer las magnitudes más adversas para la estructura. Según la norma, se deben obtener los cortantes que afectan los miembros estructurales valorando las fuerzas en la dirección de estudio y además aumentando un treinta por ciento (30%), del efecto en el otro sentido. Así, establecemos en las siguientes tablas en esquema general para la obtención de los parámetros exigidos en la norma que atañen al método de la fuerza horizontal equivalente (FHE).

<sup>6</sup> Tomado de Diseño sísmico de edificios, Bazan Enrique, Limuza Walley

## 2.7.1. Entrepiso 3

### 2.7.1.1. Datos generales del entrepiso 3

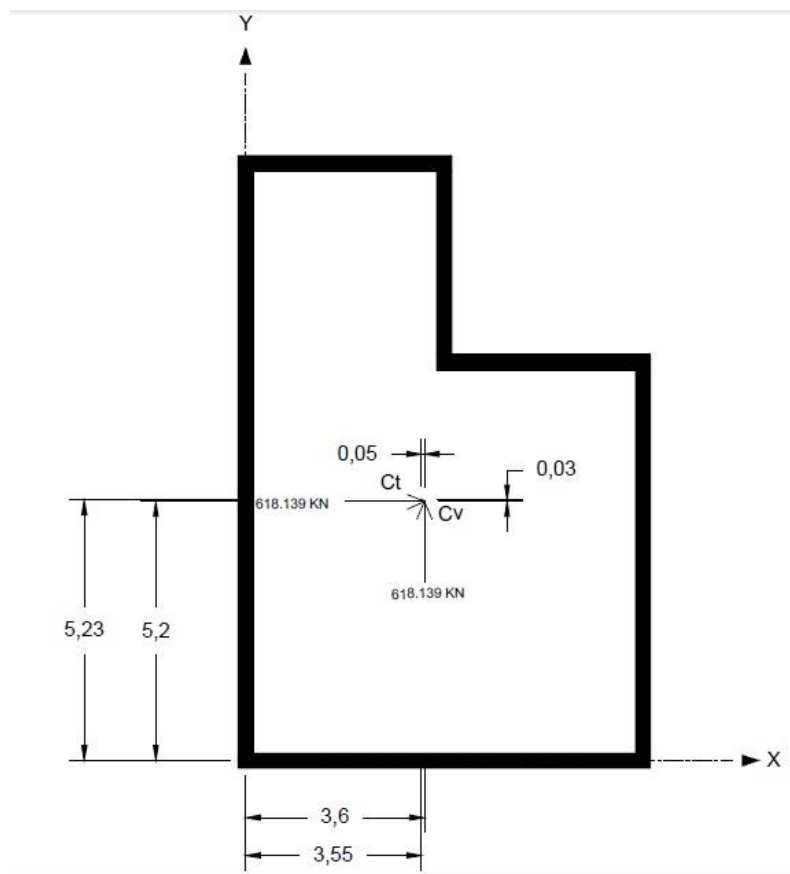
La información general del Entrepiso 3 se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 25. Información general entrepiso 3.

Dirección j	Vj [KN]	C [m]	Ct [m]	es [m]	b [m]	e1 [m]	e2 [m]	Mt1 [KN*m]	Mt2 [KN*m]
X	618.139	3.6	3.55	-0.05	12	0.546	-0.654	337.746	-404.021
Y	618.139	5.2	5.23	0.03	8	0.431	-0.369	266.275	-228.236

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Información general entrepiso 3. Basado en: MALDONADO RONDON, Esperanza & CHIO CHO, Gustavo. Análisis sísmico de edificaciones. Editorial Universidad Industrial de Santander. 2004.

Imagen 11. Centro de torsión del Entrepiso 3



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Centro de torsión del Entrepiso 3.

2.7.1.2. Cálculo del cortante de diseño para el entrepiso 3

Tabla 26. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X).

Eje	R <sub>jx</sub> [KN/m]	Y <sub>j</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *Y <sub>j</sub> [KN]	Ct y [m]	Y <sub>jt</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *Y <sub>jt</sub> [KN]	R <sub>jx</sub> *(Y <sub>jt</sub> ) <sup>2</sup> [KN*m]
A	6461.43	0	0	3.55	3.546	22914.768	81264.745
B	6461.43	4	25845.727	3.55	-0.454	-2930.959	1329.507
C	6461.43	8	51691.454	3.55	-4.454	-28776.686	128160.085
D	3524.42	12	42293.008	3.55	-8.454	-29794.043	251867.169
Σ	22908.71		119830.188			Σ 462621.506	

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X). Basado en: Op Cit

Tabla 27. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y)

Eje	R <sub>jy</sub> [KN/m]	X <sub>j</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *X <sub>j</sub> [KN]	Ct x [m]	X <sub>jt</sub> [m]	R <sub>jy</sub> *X <sub>jt</sub> [KN]	R <sub>jy</sub> *(X <sub>jt</sub> ) <sup>2</sup> [KN*m]
3	9304.46	0	0	5.23	5.231	48669.492	254578.881
2	9304.46	4	37217.847	5.23	1.231	11451.645	14094.333
1	6461.43	8	51691.454	5.23	-2.769	-17893.196	49550.388
Σ	25070.36		88909.3006			Σ 318223.601	

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y). Basado en: Op Cit

Tabla 28. Efecto de sismo en dirección X

Eje	Efecto de V <sub>x</sub>				Efecto de V <sub>y</sub>		
	E.D. V <sub>x</sub> [KN]	E. Mtx1 [KN]	T V <sub>x</sub> +Mtx1 [KN]	E. Mtx2 [KN]	T V <sub>x</sub> +Mtx2 [KN]	E. Mty1 [KN]	E. Mty2 [KN]
A	174.347	9.912	184.259	-11.856	162.491	7.814	-6.698
B	174.347	-1.268	173.079	1.517	175.864	-0.999	0.857

C	174.347	-12.447	161.900	14.889	189.237	-9.813	8.411
D	95.098	-12.887	82.211	15.416	110.514	-10.160	8.709
$\Sigma$	618.139						

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Efecto de sismo en dirección X. Basado en: Op Cit

Tabla 29. Efecto de sismo en dirección Y

Eje	Efecto de Vy					Efecto de Vx	
	E.D. Vy [KN]	E. Mty1 [KN]	T Vy+Mty1 [KN]	E. Mty2 [KN]	T Vy+Mty2 [KN]	E. Mtx1 [KN]	E. Mtx2 [KN]
3	229.413	16.597	246.009	-14.226	215.187	21.051	-25.182
2	229.413	3.905	233.318	-3.347	226.065	4.953	-5.925
1	159.314	-6.102	153.213	5.230	164.544	-7.740	9.258
$\Sigma$	618.139						

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Efecto de sismo en dirección Y. Basado en: Op Cit

### 2.7.1.3. Cortante de diseño para el entrepiso 3

Tabla 30. Cortante de Diseño en dirección X.

Eje	$Vx + 0,3*Vy$ [KN]	$0,3*Vx + Vy$ [KN]	V diseño [KN]	r [%]
A	186.603	63.092	186.603	6.57%
B	172.779	50.924	172.779	-0.91%
C	191.760	65.182	191.760	9.08%
D	113.127	41.863	113.127	15.94%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortante de Diseño en dirección X. Basado en: Op Cit

Tabla 31. Cortante de Diseño en dirección Y

Eje	$Vy + 0,3*Vx$ [KN]	$0,3*Vy + Vx$ [KN]	V diseño [KN]	r [%]
3	252.325	94.854	252.325	9.08%
2	234.804	74.949	234.804	2.30%
1	167.322	58.622	167.322	4.79%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortante de Diseño en dirección Y. Basado en: Op Cit

## 2.7.2. Entrepiso 2

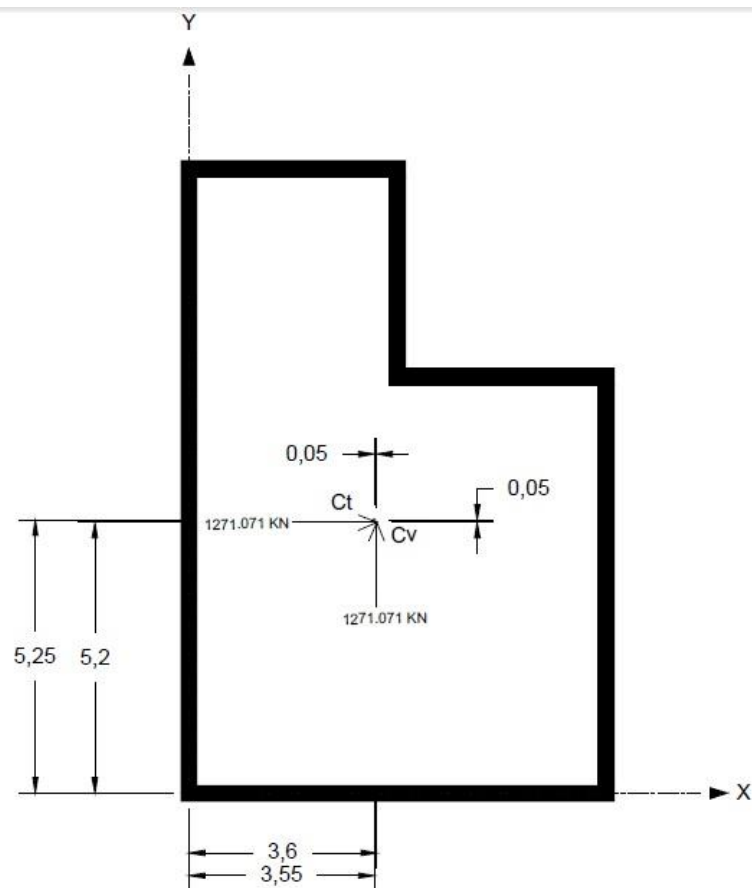
### 2.7.2.1. Datos generales del entrepiso 2.

Tabla 32. Información general del Entrepiso 2:

Dirección j	Vj [KN]	C [m]	Ct [m]	es [m]	b [m]	e1 [m]	e2 [m]	Mt1 [KN*m]	Mt2 [KN*m]
X	1271.071	3.6	3.55	-0.05	12	0.554	-0.646	342.453	-399.314
Y	1271.071	5.2	5.25	0.05	8	0.451	-0.349	573.677	-215.525

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Entrepiso 2. Basado en: MALDONADO RONDON, Esperanza & CHIO CHO, Gustavo. Análisis sísmico de edificaciones. Editorial Universidad Industrial de Santander. 2004

Imagen 12. Centro de torsión del Entrepiso 2.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Centro de torsión del Entrepiso 2.

2.7.2.2. Cálculo del cortante de diseño para el entrepiso 2.

Tabla 33. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X):

Eje	R <sub>jx</sub> [KN/m]	Y <sub>j</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *Y <sub>j</sub> [KN]	Ct y [m]	Y <sub>jt</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *Y <sub>jt</sub> [KN]	R <sub>jx</sub> *(Y <sub>jt</sub> ) <sup>2</sup> [KN*m]
A	6784.50	0	0	3.55	3.554	24112.167	85694.794
B	6784.50	4	27138.013	3.55	-0.446	-3025.846	1349.508
C	6784.50	8	54276.027	3.55	-4.446	-30163.859	134108.329
D	3773.93	12	45287.203	3.55	-8.446	-31874.619	269212.835
Σ	24127.44		126701.243			Σ 490365.466	

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X). Basado en: Op Cit.

Tabla 34. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y):

Eje	R <sub>jy</sub> [KN/m]	X <sub>j</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *X <sub>j</sub> [KN]	Ct x [m]	X <sub>jt</sub> [m]	R <sub>jy</sub> *X <sub>jt</sub> [KN]	R <sub>jy</sub> *(X <sub>jt</sub> ) <sup>2</sup> [KN*m]
3	9705.19	0	0	5.25	5.251	50965.197	267635.226
2	9705.19	4	38820.769	5.25	1.251	12144.428	15196.725
1	6784.50	8	54276.027	5.25	-2.749	-18648.340	51258.074
Σ	26194.89		93096.7954			Σ 334090.025	

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y). Basado en: Op Cit.

Tabla 35. Efecto de sismo en dirección X.

Eje	Efecto de V <sub>x</sub>					Efecto de V <sub>y</sub>	
	E.D. V <sub>x</sub> [KN]	E. Mtx1 [KN]	T V <sub>x</sub> +Mtx1 [KN]	E. Mtx2 [KN]	T V <sub>x</sub> +Mtx2 [KN]	E. Mty1 [KN]	E. Mty2 [KN]
A	357.418	10.015	367.434	-11.678	345.740	16.778	-6.303
B	357.418	-1.257	356.161	1.466	358.884	-2.105	0.791
C	357.418	-12.529	344.889	14.609	372.028	-20.989	7.885
D	198.817	-13.240	185.577	15.438	214.255	-22.179	8.332

$\Sigma$	1271.071
----------	----------

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Efecto de sismo en dirección X. Basado en: Op Cit.

Tabla 36. Efecto de sismo en dirección Y

Eje	Efecto de Vy					Efecto de Vx	
	E.D. Vy [KN]	E. Mty1 [KN]	T Vy+Mty1 [KN]	E. Mty2 [KN]	T Vy+Mty2 [KN]	E. Mtx1 [KN]	E. Mtx2 [KN]
3	470.931	35.463	506.394	-13.323	457.608	21.169	-24.684
2	470.931	8.450	479.382	-3.175	467.757	5.044	-5.882
1	329.209	-12.976	316.233	4.875	334.084	-7.746	9.032
$\Sigma$	1271.071						

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Efecto de sismo en dirección Y. Basado en: Op Cit.

### 2.7.2.3. Cortante de diseño para el entrepiso 2

Tabla 37. Cortante de diseño en dirección X

Eje	$V_x + 0,3*V_y$ [KN]	$0,3*V_x + V_y$ [KN]	V diseño [KN]	r [%]
A	372.467	127.008	372.467	4.04%
B	355.530	104.743	355.530	-0.53%
C	374.393	119.494	374.393	4.53%
D	216.755	72.609	216.755	8.28%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortante de diseño en dirección X. Basado en: Op Cit.

Tabla 38. Cortante de diseño en dirección Y

Eje	$V_y + 0,3*V_x$ [KN]	$0,3*V_y + V_x$ [KN]	V diseño [KN]	r [%]
3	512.745	173.088	512.745	8.15%
2	480.895	148.859	480.895	2.07%
1	336.793	109.257	336.793	2.25%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortante de diseño en dirección Y. Basado en: Op Cit.

### 2.7.3. Entrepiso 1.

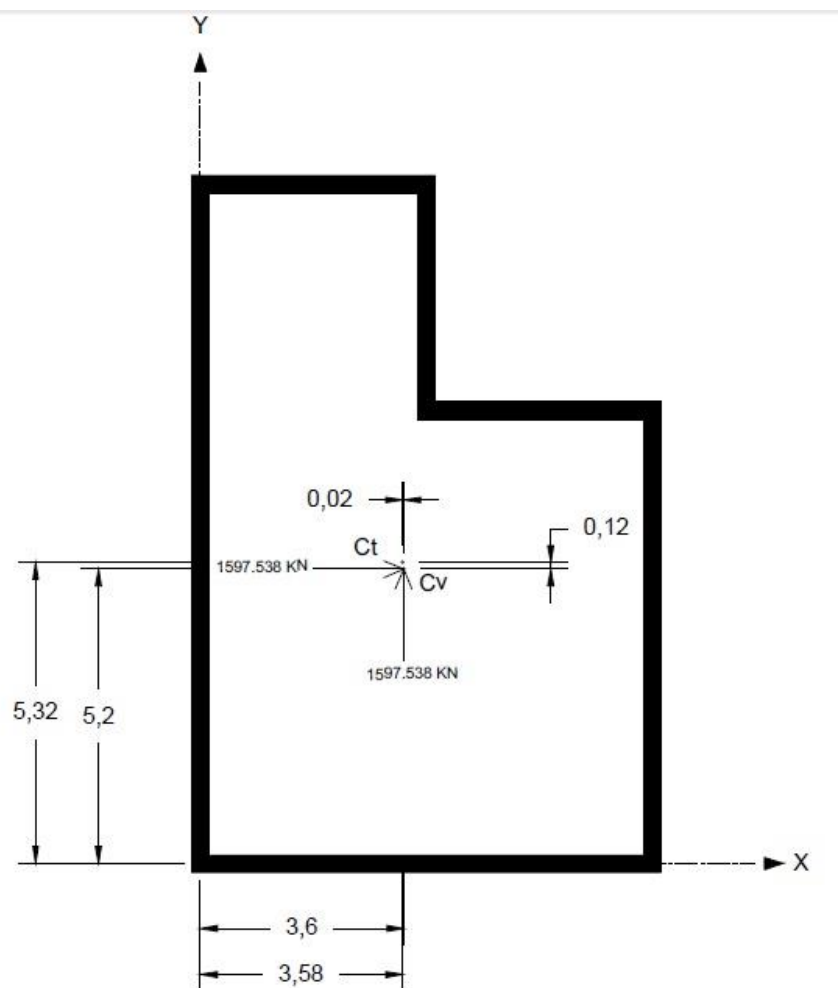
#### 2.7.3.1. Datos generales del entrepiso 1.

Tabla 39. Información general del Entrepiso 1:

Dirección j	Vj [KN]	C [m]	Ct [m]	es [m]	b [m]	e1 [m]	e2 [m]	Mt1 [KN*m]	Mt2 [KN*m]
X	1597.538	3.6	3.58	-0.02	12	0.583	-0.617	360.099	-381.668
Y	1597.538	5.2	5.32	0.12	8	0.519	-0.281	828.694	-173.863

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Entrepiso 2. Basado en: MALDONADO RONDON, Esperanza & CHIO CHO, Gustavo. Análisis sísmico de edificaciones. Editorial Universidad Industrial de Santander. 2004

Imagen 13. Centro de torsión del Entrepiso 1.





Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Entrepiso 1. Basado en: Op Cit

### 2.7.3.2. Cálculo del cortante de diseño para el entrepiso 1.

Tabla 40. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X):

Eje	R <sub>jx</sub> [KN/m]	Y <sub>j</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *Y <sub>j</sub> [KN]	Ct y [m]	Y <sub>jt</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *Y <sub>jt</sub> [KN]	R <sub>jx</sub> *(Y <sub>jt</sub> ) <sup>2</sup> [KN*m]
A	10437.70	0	0	3.58	3.583	37393.605	133964.576
B	10437.70	4	41750.790	3.58	-0.417	-4357.184	1818.893
C	10437.70	8	83501.579	3.58	-4.417	-46107.974	203679.528
D	6180.50	12	74165.999	3.58	-8.417	-52024.030	437909.509
Σ	37493.59		199418.368				Σ 777372.506

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección X). Basado en: Op Cit

Tabla 41. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y):

Eje	R <sub>jy</sub> [KN/m]	X <sub>j</sub> [m]	R <sub>jx</sub> *X <sub>j</sub> [KN]	Ct x [m]	X <sub>jt</sub> [m]	R <sub>jy</sub> *X <sub>jt</sub> [KN]	R <sub>jy</sub> *(X <sub>jt</sub> ) <sup>2</sup> [KN*m]
3	14567.59	0	0	5.32	5.319	77481.115	412101.285
2	14567.59	4	58270.366	5.32	1.319	19210.749	25333.829
1	10437.70	8	83501.579	5.32	-2.681	-27986.264	75038.675
Σ	39572.88		141771.945				Σ 512473.789

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Evaluación del cortante de diseño para los elementos resistentes (dirección Y). Basado en: Op Cit

Tabla 42. Efecto de sismo en dirección X

Eje	Efecto de V <sub>x</sub>					Efecto de V <sub>y</sub>	
	E.D. V <sub>x</sub> [KN]	E. Mtx1 [KN]	T V <sub>x</sub> +Mtx1 [KN]	E. Mtx2 [KN]	T V <sub>x</sub> +Mtx2 [KN]	E. Mty1 [KN]	E. Mty2 [KN]
A	444.732	21.192	465.924	-21.817	422.915	42.550	-12.209
B	444.732	-2.469	442.263	2.542	447.275	-4.958	1.423
C	444.732	-26.130	418.602	26.901	471.634	-52.466	15.054

D	263.340	-29.483	233.857	30.353	293.694	-59.198	16.985
$\Sigma$	1597.538						

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Efecto de sismo en dirección X. Basado en: Op Cit

Tabla 43. Efecto de sismo en dirección Y

Eje	Efecto de Vy					Efecto de Vx	
	E.D. Vy [KN]	E. Mty1 [KN]	T Vy+Mty1 [KN]	E. Mty2 [KN]	T Vy+Mty2 [KN]	E. Mtx1 [KN]	E. Mtx2 [KN]
3	588.086	88.165	676.252	-25.297	562.790	43.910	-45.206
2	588.086	21.860	609.946	-6.272	581.814	10.887	-11.208
1	421.365	-31.845	389.519	9.137	430.502	-15.860	16.328
$\Sigma$	1597.538						

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Efecto de sismo en dirección Y. Basado en: Op Cit

### 2.7.3.3. Cortante de diseño para el entrespiso 1

Tabla 44. Cortante de diseño en dirección X

Eje	$Vx + 0,3*Vy$ [KN]	$0,3*Vx + Vy$ [KN]	V diseño [KN]	r [%]
A	478.689	182.327	478.689	7.09%
B	440.776	127.721	440.776	-0.90%
C	476.150	156.544	476.150	6.60%
D	298.789	105.093	298.789	11.86%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortante de diseño en dirección X. Basado en: Op Cit

Tabla 45. Cortante de diseño en dirección Y

Eje	$Vy + 0,3*Vx$ [KN]	$0,3*Vy + Vx$ [KN]	V diseño [KN]	r [%]
3	689.425	246.786	689.425	14.70%
2	613.212	193.871	613.212	4.10%
1	435.400	145.479	435.400	3.22%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortante de diseño en dirección Y. Basado en: Op Cit

TABLA 46. Convenciones:

<b>j</b>	Dirección
<b>V</b>	Cortante
<b>C<sub>v</sub></b>	Coordenadas centro de cortante
<b>C<sub>t</sub></b>	Coordenadas centro de torsión
<b>e<sub>s</sub></b>	Excentricidad torcional del entrepiso, siendo en la dirección <b>X</b> igual a <b>C<sub>Ty</sub> - C<sub>Vy</sub></b> y en la dirección <b>Y</b> igual a <b>C<sub>Tx</sub> - C<sub>Vx</sub></b>
<b>b</b>	Máxima dirección en planta del entrepiso medida perpendicularmente a la dirección del movimiento del terreno que se está analizando
<b>e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub></b>	excentricidades accidentales
<b>M<sub>T1</sub>, M<sub>T2</sub></b>	Momentos torcionales causados por el cortante horizontal ( $M_t = V \cdot e$ )

<b>R<sub>jx</sub></b>	Rigidez lateral del entrepiso para el elemento resistente <b>j</b> , en la dirección <b>X</b>
<b>y<sub>j</sub></b>	Coordenadas en la dirección <b>Y</b> , del elemento resistente
<b>C<sub>Ty</sub></b>	coordenadas del centro de torsión en la dirección <b>Y</b>
<b>y<sub>jt</sub></b>	Distancia del elemento resistente con respecto al centro de torsión del entrepiso igual a <b>C<sub>Ty</sub> - y<sub>j</sub></b> .

<b>E.D.V<sub>x</sub></b>	Fuerza cortante que debe resistir el elemento resistente por efecto directo de <b>V<sub>x</sub></b>
<b>E.M<sub>Tx1</sub></b>	Fuerza cortante que debe resistir el elemento resistente por efecto del momento torsionante del piso <b>M<sub>Tx1</sub></b>
<b>TV<sub>x</sub> + M<sub>Tx1</sub></b>	Efecto combinado que debe resistir el elemento resistente por acción del cortante <b>V<sub>x</sub></b> y del momento <b>M<sub>Tx1</sub> = V<sub>x</sub> + M<sub>Tx1</sub></b>
<b>E.M<sub>Tx2</sub></b>	Fuerza cortante que debe resistir el elemento resistente por efecto del momento torsionante del piso <b>M<sub>Tx2</sub></b>
<b>E.M<sub>Ty1</sub>, E.M<sub>Ty2</sub></b>	Fuerza cortante que debe resistir el elemento resistente por efecto del momento torsionante del piso <b>M<sub>Ty1</sub>, M<sub>Ty2</sub></b>

<b>V<sub>x</sub> + 0,3V<sub>y</sub>, 0,3V<sub>x</sub> + V<sub>y</sub></b>	Combinaciones para el cortante de diseño
<b>V<sub>diseño</sub></b>	Es el mayor valor de las combinaciones
<b>r</b>	Incremento en % del cortante de diseño en relación al cortante directo

<b>R<sub>jy</sub></b>	Rigidez lateral del entrepiso para el elemento resistente <b>j</b> , en la dirección <b>Y</b>
<b>x<sub>j</sub></b>	Coordenadas en la dirección <b>X</b> , del elemento resistente
<b>C<sub>Tx</sub></b>	coordenadas del centro de torsión en la dirección <b>X</b>
<b>x<sub>jt</sub></b>	Distancia del elemento resistente con respecto al centro de torsión del entrepiso igual a <b>C<sub>Tx</sub> - x<sub>j</sub></b> .

<b>E.D.V<sub>y</sub></b>	Fuerza cortante que debe resistir el elemento resistente por efecto directo de <b>V<sub>y</sub></b>
<b>E.M<sub>Ty1</sub></b>	Fuerza cortante que debe resistir el elemento resistente por efecto del momento torsionante del piso <b>M<sub>Tx1</sub></b>
<b>TV<sub>y</sub> +M<sub>Ty1</sub></b>	Efecto combinado que debe resistir el elemento resistente por acción del cortante <b>V<sub>y</sub></b> y del momento <b>M<sub>Ty1</sub> = V<sub>y</sub>+M<sub>Ty1</sub></b>
<b>E.MTy2</b>	Fuerza cortante que debe resistir el elemento resistente por efecto del momento torsionante del piso <b>M<sub>Ty2</sub></b>
<b>E.MTx1,</b> <b>E.MTx2</b>	Fuerza cortante que debe resistir el elemento resistente por efecto del momento torsionante del piso <b>M<sub>Tx1</sub>, M<sub>Tx2</sub></b>
<b>V<sub>y</sub>+0,3V<sub>x</sub>,</b> <b>0,3V<sub>y</sub>+V<sub>x</sub></b>	Combinaciones para el cortante de diseño
<b>V<sub>diseño</sub></b>	Es el mayor valor de las combinaciones
<b>r</b>	Incremento en % del cortante de diseño en relación al cortante directo

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Convenciones. Basado en: Op Cit

La fuerza cortante que debe ser resistida por un elemento estructural es igual a la suma de dos efectos: el efecto que produce la fuerza cortante, **V**, y el efecto debido al momento torsionante, **M<sub>t</sub>**.

Para los elementos resistentes del entrepiso en estudio, la fuerza cortante **V** que debe resistir el elemento, se evalúa con la siguiente expresión:

$$\frac{R_j}{\sum R_j} V$$

Cuyos resultados corresponden a la convención: **E.D.V**, y, por el efecto del momento torsionante del piso **M<sub>t</sub>** con la expresión (para la dirección x):

$$\frac{R_{jx} y_{jt}}{\sum R_{jx} y_{jt}^2 + \sum R_{jy} x_{jt}^2} M_t$$

Donde **M<sub>t</sub>** puede ser **M<sub>tx1</sub>**, **M<sub>tx2</sub>**, **M<sub>ty1</sub>** o **M<sub>ty2</sub>**, donde el numerador es **R<sub>jx</sub>y<sub>jt</sub>**

Los resultados pertenecen a las siguientes convenciones:

- **E.M<sub>Tx1</sub>**

- **E.M<sub>Tx2</sub>**

-  $E.M_{Ty1}$

-  $E.M_{Ty2}$

La convención  $T V_x + M_{Tx1}$ , es la suma de los efectos producidos por la fuerza cortante cuando el sismo es en dirección X (tanto el efecto directo,  $E.D.V_x$ , como el efecto del momento torsionante de la primera excentricidad más desfavorable  $E.M_{tx1}$ , mientras que  $T V_x + M_{Tx1}$ , se repiten los cálculos con la excentricidad  $e_{2y}$ .

De esta manera se realiza el análisis en ambas direcciones, de tal manera que se pueda calcular el cortante de diseño para cada elemento en cada entrespeque.

Este se calcula con el máximo valor de la suma del 100% de los efectos del sismo actuando en una dirección con el 30% del efecto del sismo en la otra dirección.

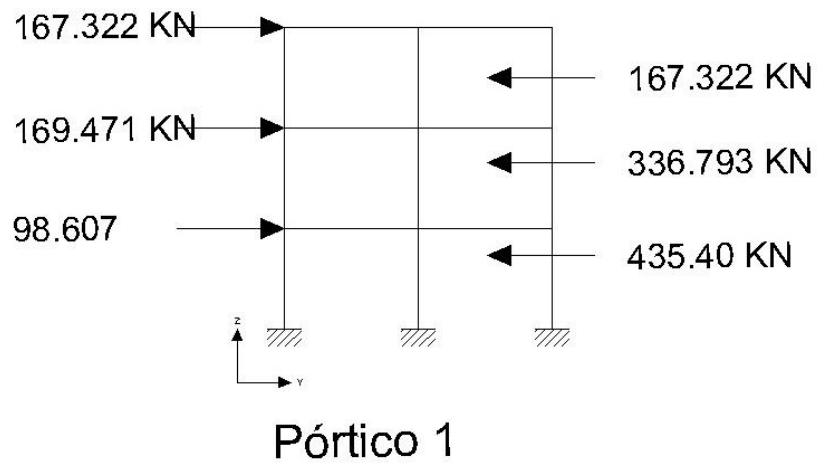
$$V_x + 0.3V_y ; 0.3V_x + V_y$$

Por último se escoge el mayor valor de los dos anteriores, que corresponde al cortante de diseño en una dirección, luego se hace lo mismo en la otra dirección.

## 2.8. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

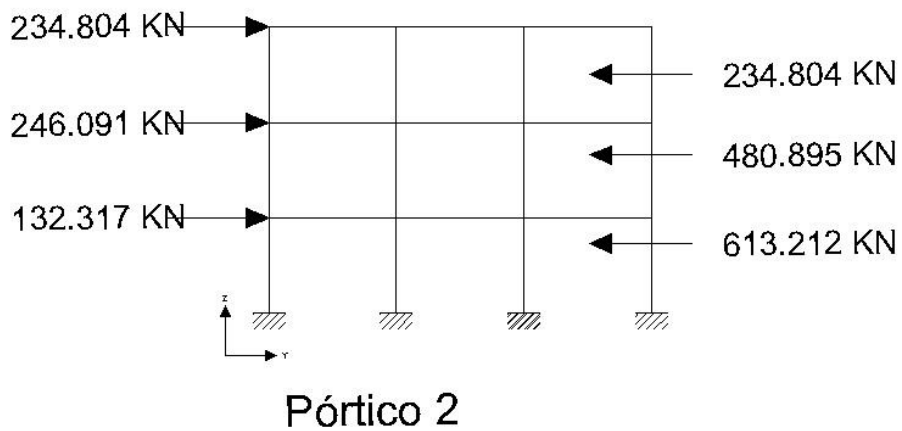
Del análisis anterior se obtienen las fuerzas sísmicas ( $V_{\text{diseño}}$ , en color amarillo) para cada pórtico de la estructura, con los cuales procederemos a obtener las reacciones de la estructura.

Imagen 14. Cortantes de diseño para el Pórtico 1.



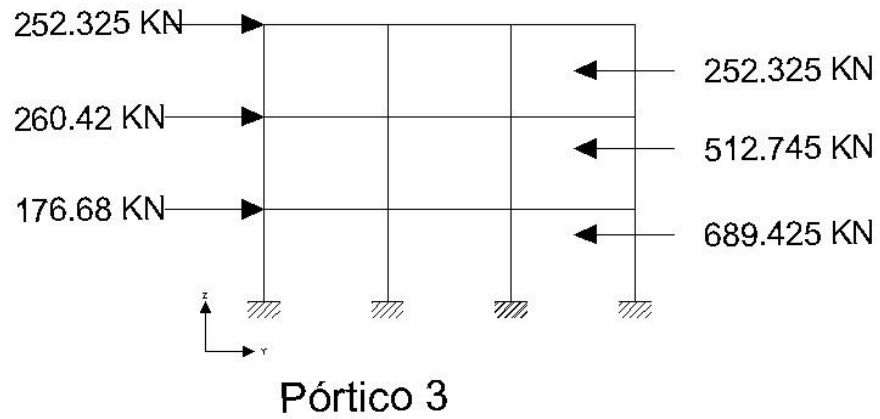
Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortantes de diseño para el Pórtico 1. Basado en: MALDONADO RONDON, Esperanza & CHIO CHO, Gustavo. Análisis sísmico de edificaciones. Editorial Universidad Industrial de Santander. 2004

Imagen 15. Cortantes de diseño para el Pórtico 2.



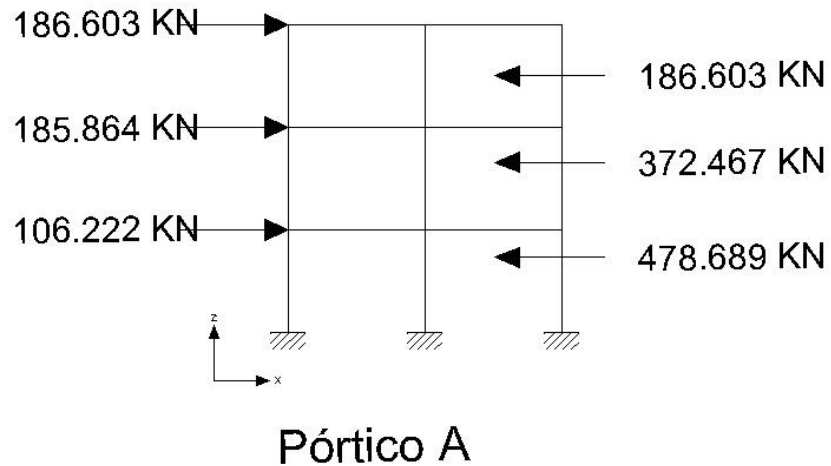
Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortantes de diseño para el Pórtico 2. Basado en: Op Cit

Imagen 16. Cortantes de diseño para el Pórtico 3.



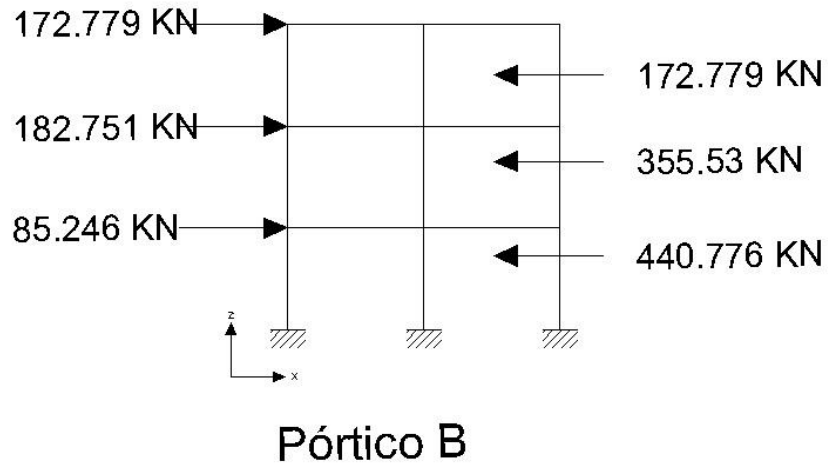
Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortantes de diseño para el Pórtico 3. Basado en: Op Cit

Imagen 17. Cortantes de diseño para el Pórtico A.



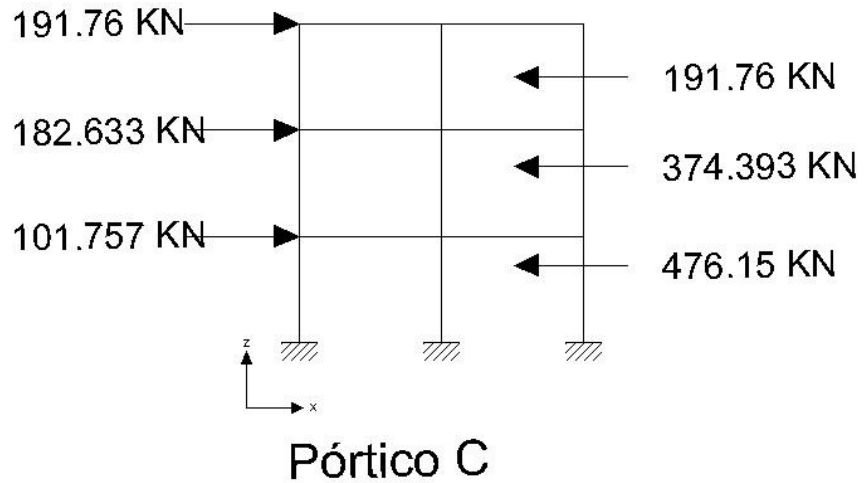
Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortantes de diseño para el Pórtico A. Basado en: Op Cit

Imagen 18. Cortantes de diseño para el Pórtico B.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortantes de diseño para el Pórtico B. Basado en: Op Cit

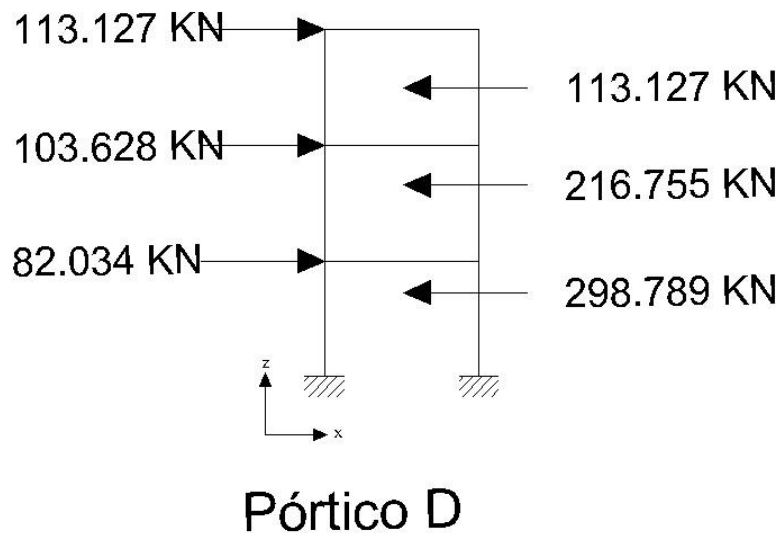
Imagen 19. Cortantes de diseño para el Pórtico C.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortantes de diseño para el Pórtico C. Basado en: Op Cit



Imagen 20. Cortantes de diseño para el Pórtico D.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Cortantes de diseño para el Pórtico D. Basado en: Op Cit

### 2.8.1. Análisis de los pórticos planos con el programa Central

Los pórticos obtenidos del análisis estático se analizarán en el programa *CENTRAL*, cuyo autor es el ingeniero Juan Manuel Mosquera, profesor del departamento de estructuras de ingeniería civil de la Universidad del Cauca.

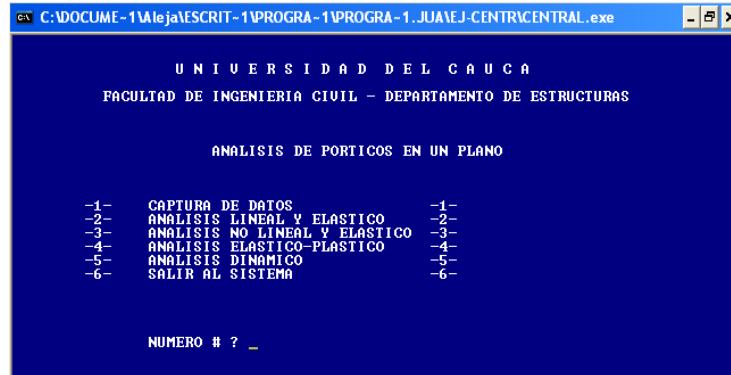
El método empleado por el programa para la solución de los pórticos es el método matricial, el cual es enseñado en pregrado del programa de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.

#### 2.8.1.1. Interfaz gráfica y manejo de *CENTRAL*.

El programa está elaborado en lenguaje Basic y para su funcionamiento se debe ejecutar en ordenadores con sistema operativo *Windows XP* o versiones anteriores.

Para introducir los datos, se debe ejecutar el programa como lo muestra la Imagen 2.

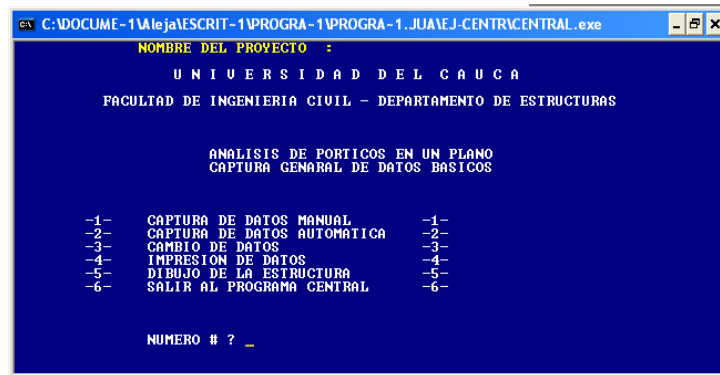
Imagen 21. Interfaz gráfica de CENTRAL, menú principal.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Interfaz gráfica de *CENTRAL*, menú principal.

Cuando se haya ejecutado el programa se debe dar clic en el numeral 1, CAPTURA DE DATOS, las opciones que da el programa para la entrada de datos son dos: entrada de datos Manual y entrada de datos Automática, como lo muestra la Imagen 3.

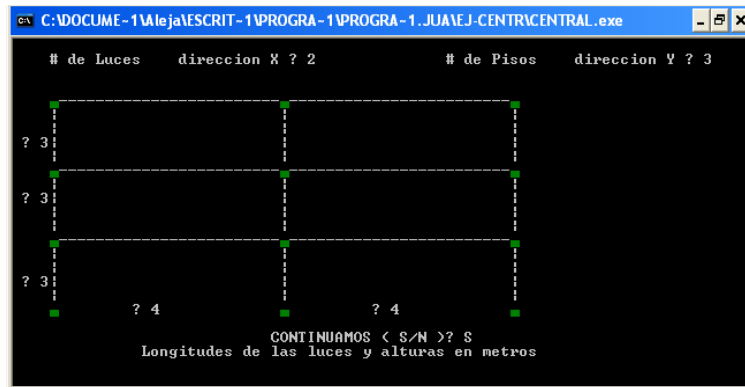
Imagen 22. Entrada de Datos.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Entrada de Datos.

Para el análisis de los pórticos del caso en cuestión, se introducen los datos de forma automática, esta forma es más sencilla teniendo en cuenta que la geometría de los pórticos es regular, por lo tanto, esta opción permite agilizar la configuración de la estructura.

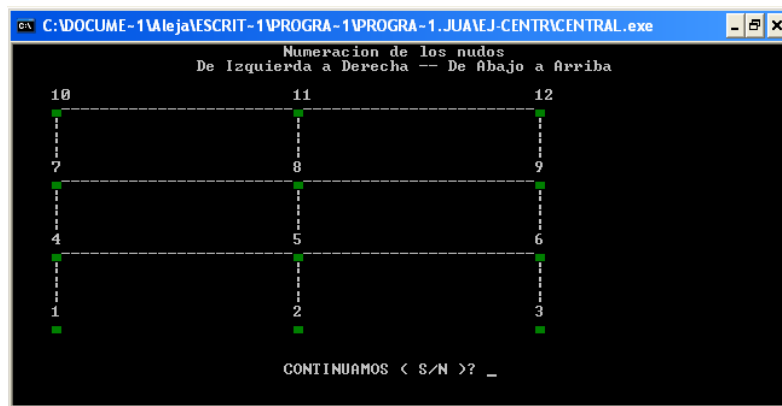
Imagen 23. Entrada de datos automática.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Entrada de datos automática.

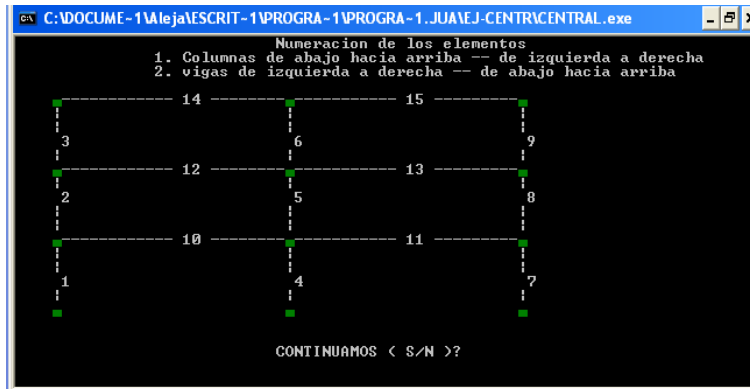
Para la configuración automática el programa pregunta el número de luces en dirección X, y el número de pisos en el eje Y, poniendo la separación en metros, como muestra Imagen 4. Después de introducir los datos de la geometría del pórtico, el programa mostrará su configuración.

Imagen 24. Numeración de los nudos.



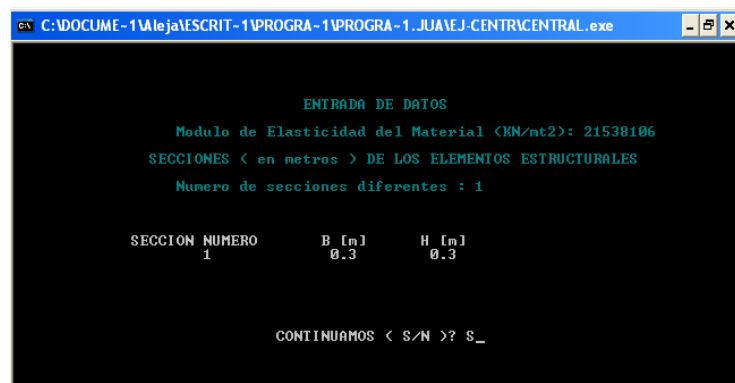
Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Numeración de los nudos.

Imagen 25. Numeración de elementos.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Numeración de Elementos. Posteriormente el programa solicita el módulo de elasticidad del material, que en este caso es concreto reforzado, en unidades de  $\text{KN/m}^2$  (Kilo-Newton por metro cuadrado o Kilo-Pascales), que para el caso corresponde a  $E=21538106$  [ $\text{KN/m}^2$  o  $\text{KPa}$ ] (Sección C.8.5.1); además, el programa solicita el número de secciones que tiene el pórtico y sus respectivas dimensiones en metros.

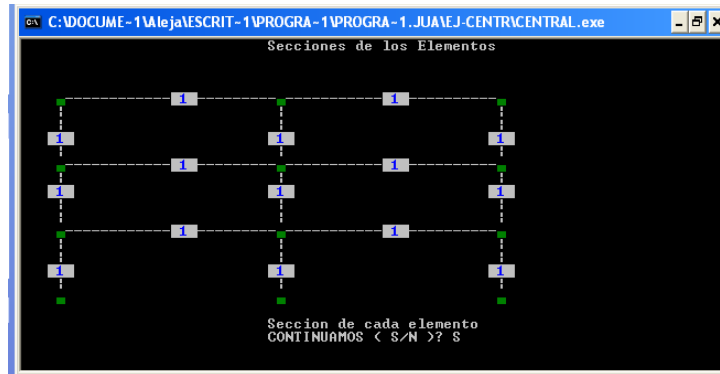
Imagen 26. Módulo de elasticidad y geometría de las secciones.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Módulo de elasticidad y geometría de las secciones.

Como en este caso particular se utilizó la misma sección para vigas y columnas de toda la estructura, se asigna ésta a los diferentes elementos.

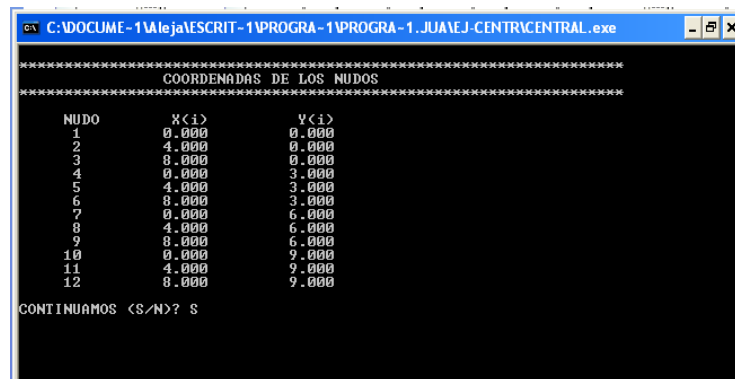
Imagen 27. Secciones de los elementos.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Secciones de los elementos.

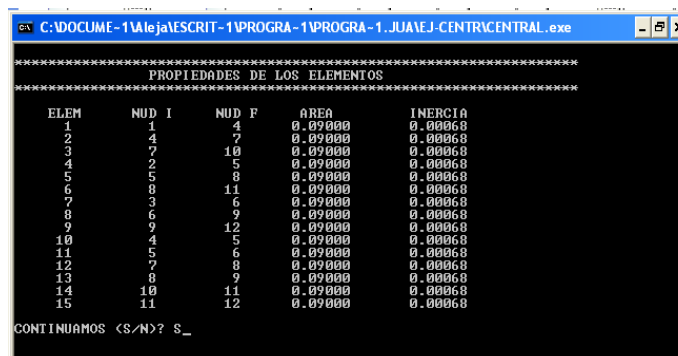
Como el pórtico es plano se trabaja en un sistema de coordenadas cartesianas cuyos ejes principales son “X” e “Y”; así, después de definida la geometría del pórtico el programa proporciona automáticamente, las coordenadas de los nudos y calcula el área y la inercia de cada elemento.

Imagen 28. Coordenadas de los nudos del pórtico



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Secciones de los elementos.

Imagen 29. Propiedades de los elementos.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Propiedades de los elementos.

Cabe resaltar que para poder continuar el programa le solicita al usuario que si (S) desea o no (N) continuar, lo cual debe colocarse en mayúsculas. Al darle al programa la opción de continuar, el programa saca al usuario al menú general de entrada de datos, en ese momento es cuando se debe dar la orden de salir al menú principal del programa *CENTRAL*.

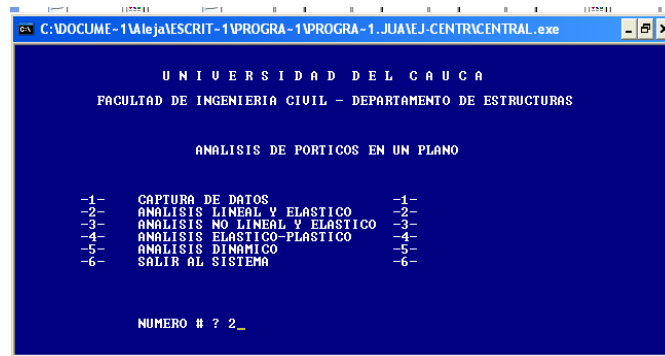
Imagen 30. Salir al menú principal del programa *CENTRAL*.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Salir al menú principal del programa *CENTRAL*.

Estando en el menú principal se debe proceder a analizar el pórtico con el programa, para ello se selecciona la opción *ANALISIS LINEAL Y ELASTICO* (#2).

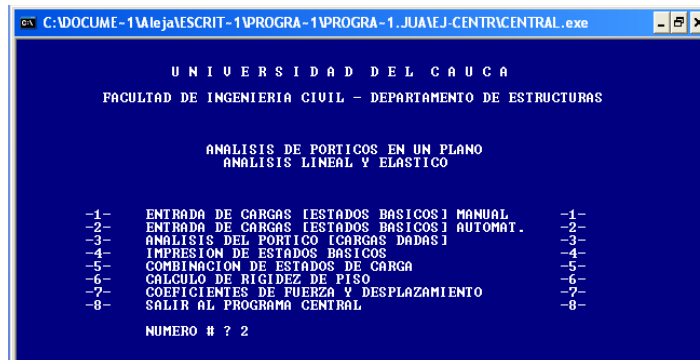
Imagen 31. Análisis Lineal y Elástico (opción #2).



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Análisis Lineal y Elástico (opción #2).

Una vez se encuentra el usuario en el menú del Análisis Lineal y Elástico, se deben asignar las cargas de manera automática, dando la opción *ENTRADA DE CARGAS [ESTADOS BÁSICOS] AUTOMAT*, ya que en principio la introducción de los datos al programa fue de manera automática.

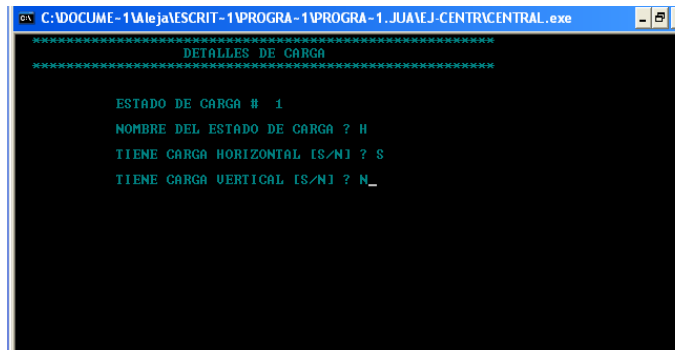
Imagen 32. Selección de la opción: *ENTRADA DE CARGAS [ESTADOS BÁSICOS] AUTOMAT (#2)*.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Selección de la opción: *ENTRADA DE CARGAS [ESTADOS BÁSICOS] AUTOMAT (#2)*.

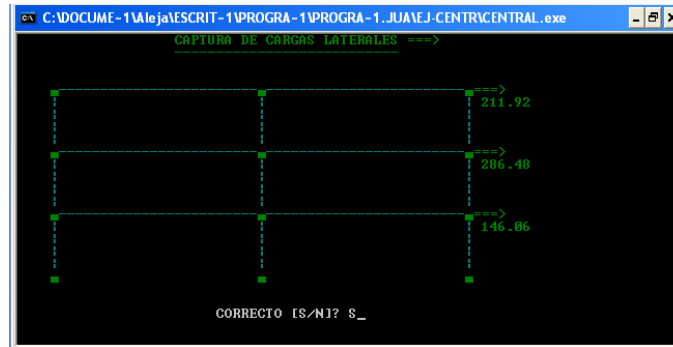
Quando se procede a asignar las cargas al pórtico, el programa solicita detalles de la carga, los cuales son: número de estados de carga, el nombre, si la carga es horizontal o vertical o ambas.

Imagen 33. Detalles de carga.



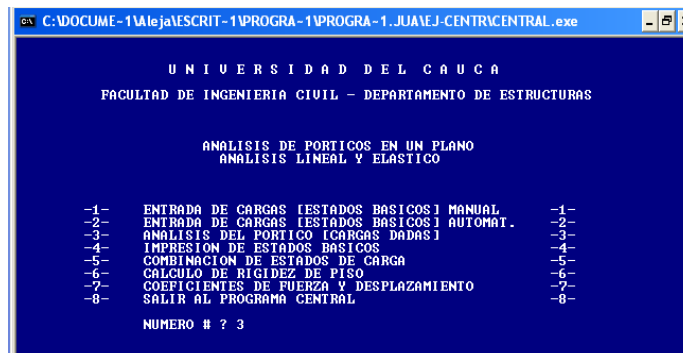
Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Detalles de carga. Para el caso en cuestión el estado de carga es uno, por ser solamente carga horizontal la que afecta a la estructura, por ende, tiene carga horizontal y carece de carga vertical. Después de haber suministrado al programa los detalles de la carga se procede a darle los valores a esas cargas.

Imagen 34. Captura de cargas laterales.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Captura de cargas laterales. Una vez se introducen los valores de las cargas laterales, las cuales son producto del análisis manual que se desarrolló anteriormente, se da la opción afirmativa y se procede a analizar la estructura, para ello se da la opción *ANALISIS DEL PORTICO [CARGAS DADAS]*.

Imagen 35. Opción, ANALISIS DEL PORTICO



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Opción, ANALISIS DEL PORTICO.

Del análisis que realiza el programa se obtienen datos tan importantes como grados de libertad, desplazamientos, giros, fuerzas, momentos y reacciones, de los cuales sólo se utilizará, para efectos del presente estudio, todo lo referente a las fuerzas, momentos y reacciones.



Imagen 36. Resultados del análisis de la estructura (1)



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Resultados del análisis de la estructura (1).

Imagen 37. Resultados del análisis de la estructura (2).



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Resultados del análisis de la estructura (2).

Imagen 38. Resultados del análisis de la estructura (3)



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Resultados del análisis de la estructura (3).

Imagen 39. Resultados del análisis de la estructura (4)

NUDO #	CAR.	FUER.-X	FUERZA-Y	MOMENTO
1	1	-193.83	-355.74	-384.20
2	1	-255.87	-0.39	-446.65
3	1	-194.26	356.13	-386.10
4	1	0.00	0.00	0.00
5	1	-0.00	-0.00	0.00
6	1	146.06	-0.00	-0.00
7	1	-0.00	0.00	0.00
8	1	0.01	0.00	0.00
9	1	286.47	0.00	-0.00
10	1	0.01	-0.00	0.00
11	1	-0.00	0.00	-0.00
12	1	211.92	0.00	-0.00

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Resultados del análisis de la estructura (4).

Después de obtener esta información se procede a calcular la rigidez de piso, seleccionando la opción 6, del menú del análisis del pórtico plano.

Imagen 40. Opción 6, *CALCULO DE RIGIDEZ DE PISO*

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Opción 6, *CALCULO DE RIGIDEZ DE PISO*.

Imagen 41. Cálculo de la rigidez de piso, Método de la rigidez.

PISO	RIGIDEZ [KN/mt]
1	10662.5
2	6935.2
3	6353.0

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Cálculo de la rigidez de piso, Método de la rigidez.

Después de analizar la estructura es necesario obtener los resultados, para ello, seleccionamos la opción 5 del menú del análisis del pórtico plano, llamada *COMBINACIONES DE ESTADO DE CARGA*.

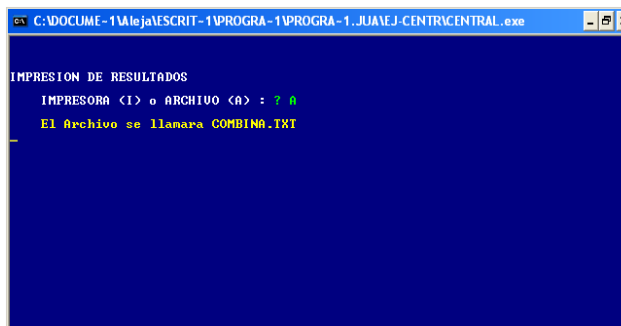
Imagen 42. Opción 5, *COMBINACIONES DE ESTADO DE CARGA*.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Opción 5, *COMBINACIONES DE ESTADO DE CARGA*.

Es necesario seleccionar esta opción ya que el programa no posee la opción de obtener los datos directamente, por lo tanto, una vez dentro de la opción *COMBINACIONES DE ESTADO DE CARGA*, se debe proporcionar el nombre de la combinación, estado número, nombre del estado y factor de amplificación; en este último es donde se debe colocar 1, para evitar que se alteren los resultados, producto del análisis. Después de proporcionar dichos datos, el programa preguntará como desea los datos, en forma de archivo digital o de manera impresa.

Imagen 43. Impresión de resultados.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *CENTRAL*. Impresión de resultados.

Posteriormente, el programa preguntara si desea la diagramación de los resultados, para ello damos la opción (S), de esta manera el programa mostrará un diagrama de la estructura y sus elementos, de manera individual, con los resultados del análisis, como lo son: fuerza axial, cortante y momento.

### 2.8.1.2. Resultados del análisis de los pórticos en *CENTRAL*

Para el pórtico No. 1 estos son los datos suministrados por el programa, resultado del análisis de los pórticos planos; el programa los exporta en un archivo de texto con extensión .txt, los cuales se muestran a continuación.

\*\*\*\*\*

COMBINACION DE ESTADOS BASICOS DE CARGA

EJE :

\*\*\*\*\*

NUMERO DE ESTADOS BASICOS A COMBINAR 1

NOMBRE DE LA COMBINACION PORTICO1

NOMBRE DEL ESTADO : HOR

FACTOR DE AMPLIFICACION: 1

\*\*\*\*\*

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS DE LA ESTRUCTURA

DESP. en [cms] GIROS en [rad]

#	DESPL. X	DESPL. Y	GIRO Z
---	----------	----------	--------

1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000
4	3.989	0.039	1.309
5	3.997	0.000	0.881
6	4.009	-0.039	1.315
7	8.808	0.059	0.972
8	8.818	0.000	0.725
9	8.843	-0.059	0.973
10	11.628	0.065	0.476
11	11.637	0.000	0.291
12	11.663	-0.065	0.476

\*\*\*\*\*

### FUERZAS EN DE LOS NUDOS DE LA ESTRUCTURA

FUERZAS en [KN] MOMENTOS en [KN-m]

#	FUERZ. X	FUERZ. Y	MOMTENTOS
1	-130.911	-249.271	-259.782
2	-172.865	-0.375	-302.007
3	-131.630	249.646	-261.155
4	-0.000	0.000	0.000
5	-0.000	0.000	-0.000
6	98.606	-0.000	0.000
7	-0.005	0.000	0.000
8	0.005	0.000	0.000
9	169.470	0.000	0.000
10	0.005	-0.000	0.000
11	0.005	0.000	0.000
12	167.321	0.000	-0.000

\*\*\*\*\*

FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES  
 FUERZAS en [KN] MOMENTOS en [KN-m]

ELE.	MOMENTOS		NUDOS	EXT	FUER.AXIAL
1	-259.782	-132.951	1	4	249.271
2	-119.259	-151.925	4	7	130.931
3	-38.824	-86.825	7	10	40.037
4	-302.007	-216.589	2	5	0.375
5	-226.141	-241.285	5	8	0.049
6	-104.481	-146.594	8	11	-0.034
7	-261.155	-133.736	3	6	-249.646
8	-119.347	-152.445	6	9	-130.980
9	-38.529	-86.738	9	12	-40.003
10	252.210	221.149	4	5	40.516
11	221.581	253.083	5	6	57.573
12	190.749	172.830	7	8	48.517
13	172.936	190.973	8	9	120.628
14	86.825	73.322	10	11	41.878
15	73.273	86.738	11	12	125.565

RIGIDECES DE PISO

PISO 1.....10662.5(KN/M)

PISO 2.....6935.2(KN/M)

PISO 3.....6353.0(KN/M)

De esta manera, los datos arrojados por el programa se procesan y, posteriormente, se utilizan para el fin de este trabajo investigativo.

### 3. ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL

Para el análisis estructural tridimensional se utilizará el programa para ordenador llamado ETABS, de la compañía CSI, el cual tiene gran trayectoria en el modelaje y procesamiento de estructuras en tres dimensiones.

#### 3.1. RESEÑA HISTÓRICA DEL PROGRAMA ETABS

A comienzos de los años 70, hizo su primera aparición una poderosa herramienta informática para el análisis de estructuras llamado SAP; en sus inicios el manejo de este software era muy dispendioso, debido a que las computadoras existentes tenían un tamaño colosal, con un tamaño semejante al de una habitación, además, la introducción de datos era mediante tarjetas perforadas, lo cual hacía más difícil la interpretación de los cálculos; restringiendo su uso solamente a entidades públicas y grandes empresas.

A finales de los años 70 y, con la incorporación de las computadoras personales, la utilización de SAP, para el análisis de estructuras, se hizo más fácil, pudiendo llegar tanto a particulares y empresas pequeñas como a universidades y empresas a nivel mundial.

Desde el año 1985 la empresa creadora de SAP, *Computers and Structures*, creó un programa variante del propio SAP, llamado ETABS, el cual establece su base de aplicación en el análisis y diseño de edificaciones por medio de métodos en tres dimensiones.

De ahí en adelante, se ha revolucionado el mercado de los programas en computador para el análisis y diseño de estructuras, gracias al avance de la tecnología, en cuanto a los medios informáticos, y a la investigación de las universidades en este campo; ya que cada día se desarrollan programas aún más potentes, los cuales permiten contemplar el tipo de material, condiciones in situ,

dimensiones y demás características con interfaces gráficas mejores, permitiendo utilizar programas de dibujo, como los sistemas CAD, para ahorro de tiempo, importando las dimensiones de dibujos ya establecidos.

### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA ETABS.

El programa Etabs basa su funcionamiento en el método de los elementos finitos, desarrollado fundamentalmente para el análisis y diseño de estructuras tipo edificación.

El gran desarrollo gráfico de este programa permite hacer el análisis más simple como el de un pórtico en dos dimensiones, como rascacielos y edificios colosales con aisladores en la base.

Este programa permite establecer la geometría, tipo de sección utilizada para los miembros estructurales, material que se compone cada elemento, tipo y dirección de la carga aplicada, lugar y parámetros sísmicos de la zona, norma de regulación mundial, etc.

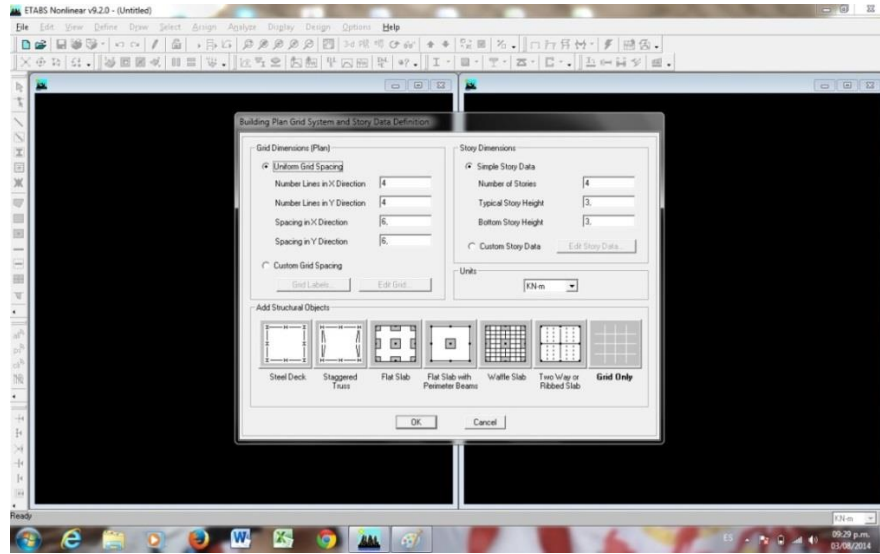
Por lo tanto, Etabs ® de la empresa mundial Computers & Structures Inc, es una de las herramientas de diseño y análisis de estructuras más potente y sofisticada del mundo.

### 3.3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Utilizamos la versión de Etabs número 9.2; primero damos clic al ícono de Etabs, al ejecutar el programa nos saldrá una ventana como esta:

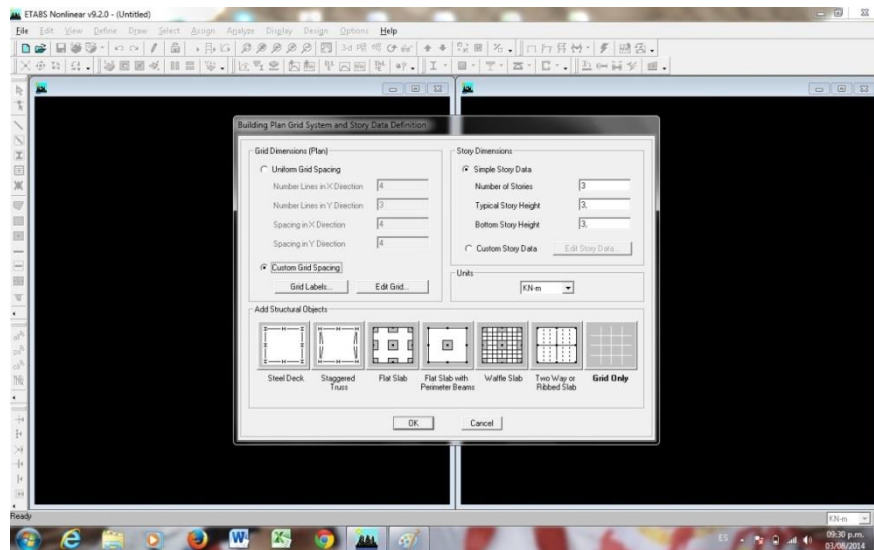


Imagen 44. Ventana de configuración de la estructura.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Ventana de configuración de la estructura. En la parte izquierda se define la configuración en planta, el número de ejes paralelos a los ejes “X” y “Y”, y la separación entre ellos; en la parte derecha el número de pisos y la separación entre ellos, para establecer mejor la configuración de la estructura en planta damos clic en la opción *Custom Grid Spacing*: además, se deben definir las unidades de trabajo que pueden ser en el sistema británico de unidades (ejemplo: psi) o en el sistema internacional de unidades (ejemplo: N).

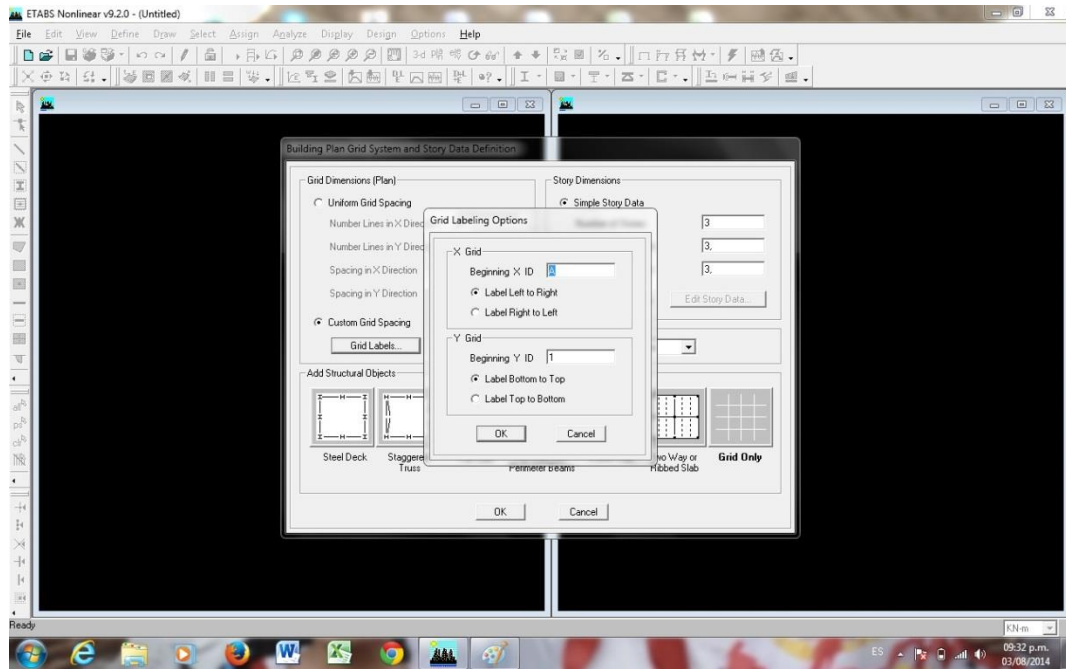
Imagen 45. Custom Grid Spacing.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Custom Grid Spacing.

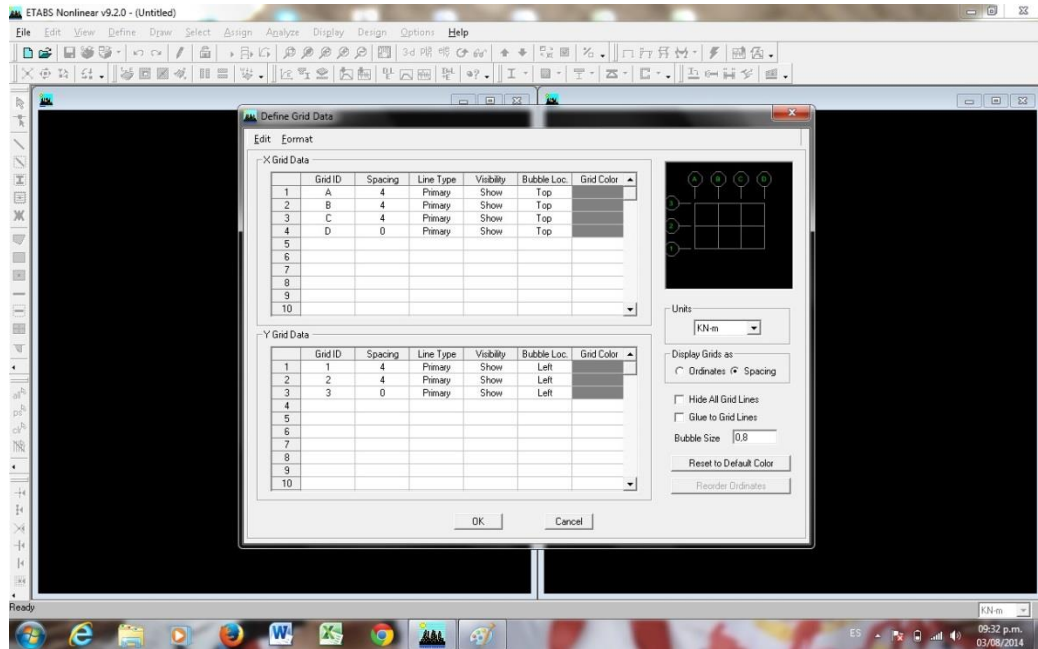
En seguida se activan las pestañas *Grid Labels* y *Edit Grid*,

Imagen 46. Opciones de referencia para los ejes.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Opciones de referencia para los ejes. La opción de *Grid Labels*, permite referenciar los ejes en planta de la estructura, tanto en “X” como en “Y”, nominarlos con números y letras, en orden ascendente o descendente, de izquierda a derecha y viceversa.

Imagen 47. Define Grid Data.

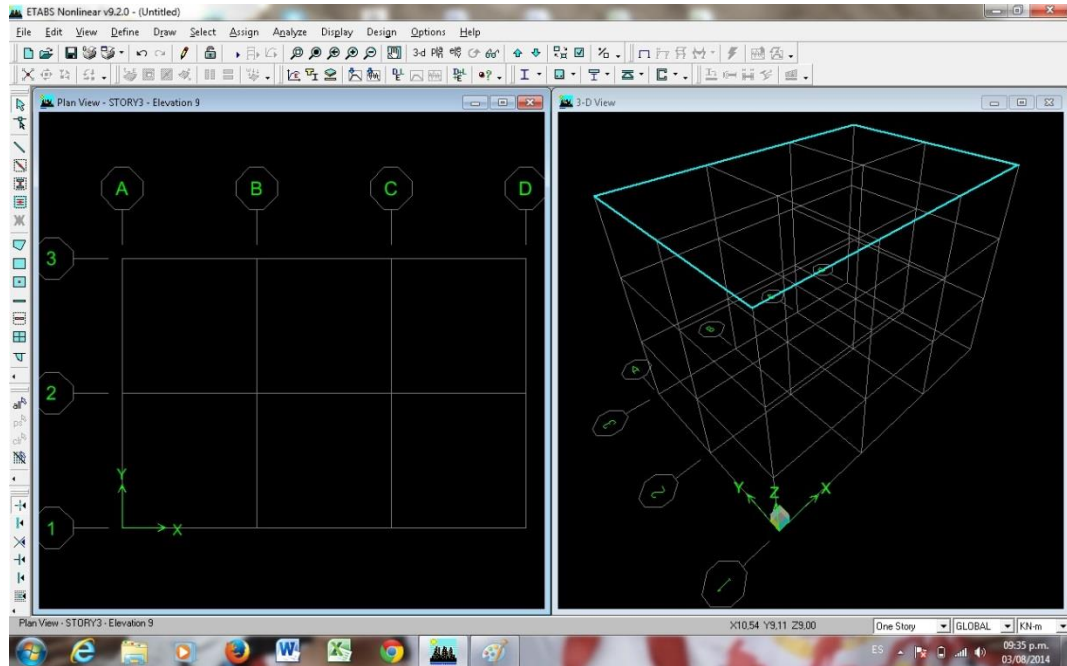


Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Define Grid Data.

En esta opción se pueden modificar los espaciamientos de la configuración en planta, en la opción *spacing*, también permite definir ejes de elementos secundarios y la visibilidad de los mismos.

De esta manera el programa nos permite ver la estructura que hemos dimensionado, en este caso, la estructura es la que se viene estudiando.

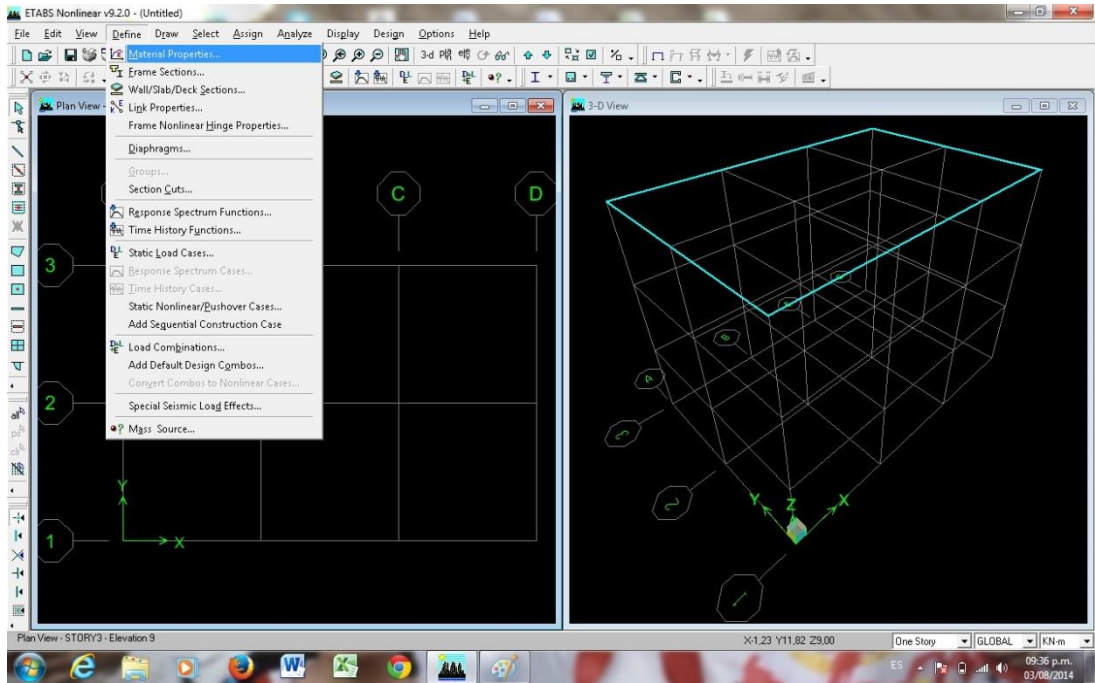
Imagen 48. Estructura alámbrica.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Estructura alámbrica.

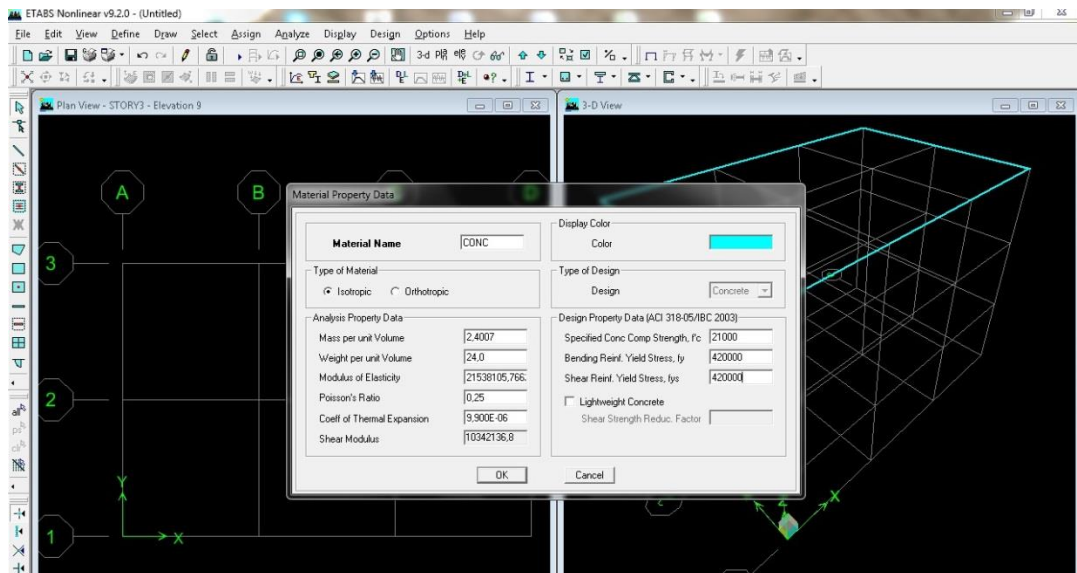
Así termina la primera parte, que consiste en la definición de la geometría de la estructura, la cual cuenta con: una distribución en planta de 3 ejes paralelos a “X” y 4 paralelos a “Y”, espaciados todos a 4 metros; 3 pisos (*Storys*), separados a 3 metros; la segunda parte del modelamiento de la estructura, consiste en la definición de los materiales; para esto en el menú *Define*, en la parte de arriba del programa, damos clic, seguidamente damos clic en *Material Properties*.

Imagen 49. Propiedad de materiales.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Propiedad de materiales. En esta opción le asignamos las propiedades mecánicas a materiales como el acero y el concreto. Estas propiedades son, por ejemplo, el módulo de elasticidad, el peso específico y la masa.

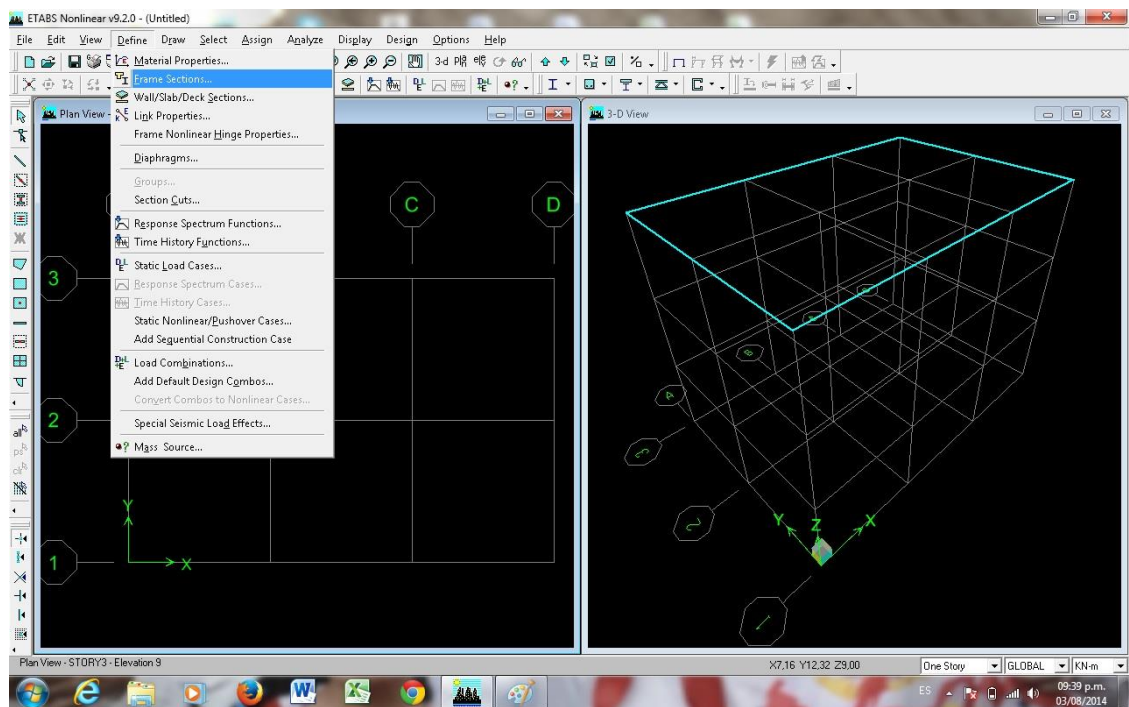
Imagen 50. Información de las propiedades del material.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Información de las propiedades del material.

Para la estructura en estudio se selecciona el tipo de material el concreto, que es isotrópico, con una masa de 2,4 Kg y un peso por unidad de volumen de 24 KN/m<sup>3</sup>, Un módulo de elasticidad (E) en KN/m<sup>2</sup> (KPa), el cual está definido en la norma sismoresistente Colombiana (NSR-10), Sección C8.5.1, como la raíz del esfuerzo de diseño  $f'_c$  por 4700, El Coeficiente de Poisson para el concreto de 0.25,  $f'_c$  de 21000 Kpa, el esfuerzo de diseño del acero de refuerzo  $f_y$  de 420000 Kpa y el esfuerzo último  $f_u$  del acero del mismo valor 420000 Kpa; se da OK. En este caso se toma el esfuerzo último del acero  $f_{ys}$  como el esfuerzo de fluencia del acero  $f_y$ , para efecto del análisis este parámetro no tiene importancia. Posteriormente, se define las propiedades de la sección en el menú *Define* se da clic en la opción *Frame Section*.

Imagen 51. Opción *Frame Section*.

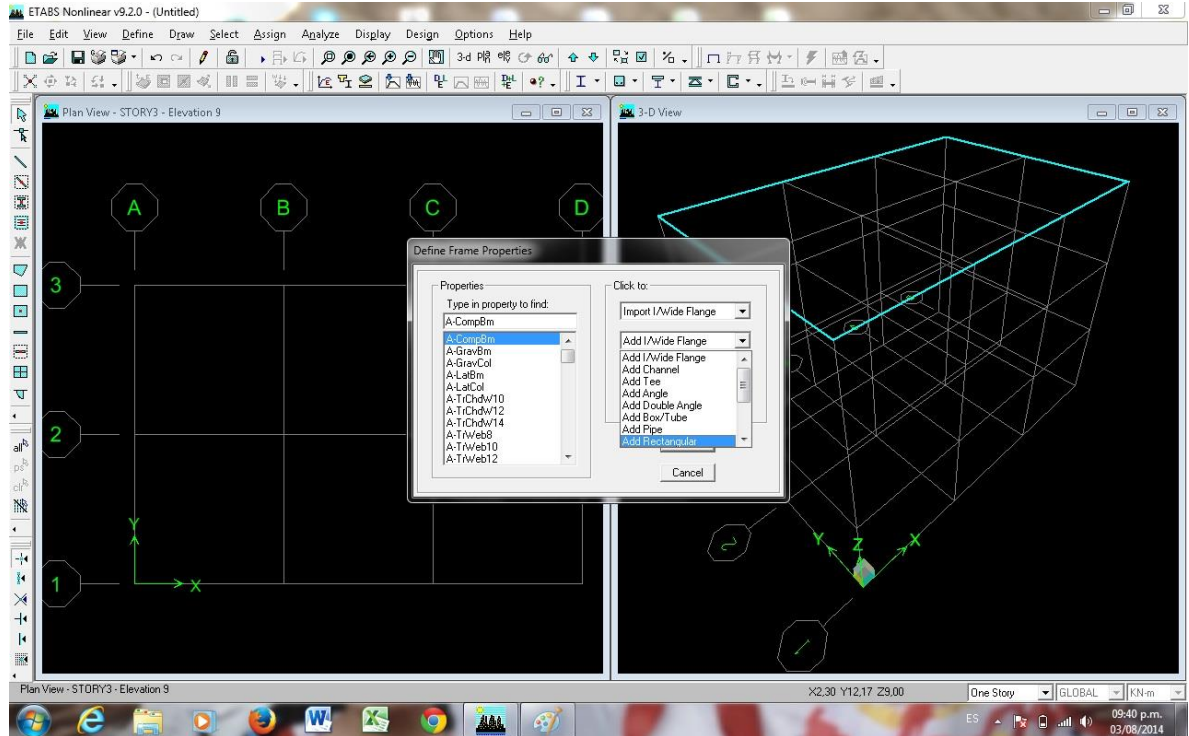


Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Opción *Frame Section*.

En esta opción se define las propiedades de la sección y el material a utilizar, primero al darle clic en la opción mencionada, aparece un recuadro en el que se puede crear la sección o utilizar una predeterminada, para el caso en cuestión se utiliza una sección rectangular de 0,3m por 0,3m en concreto reforzado, para ello

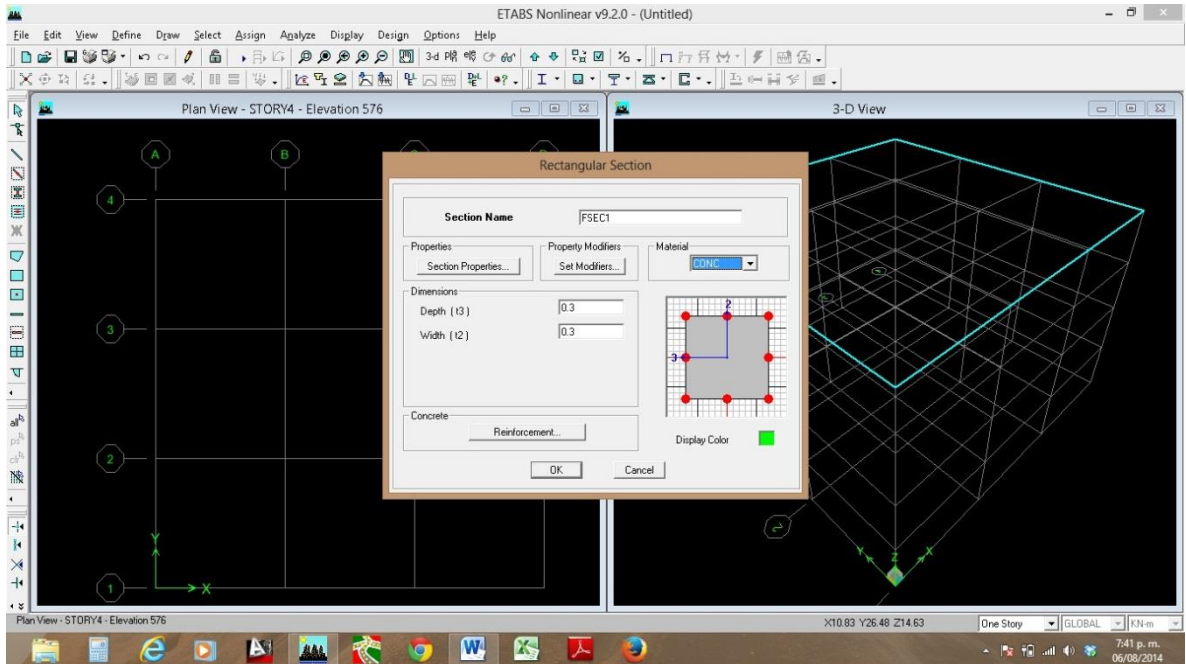
se dirige a la derecha del cuadro y se da click en *Add I/Wide Flange* y se selecciona la opción *Add Rectangular*.

Imagen 52. Propiedades de la sección



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Propiedades de la sección. Al darle clic en la opción se abre inmediatamente una ventana, donde se puede le puede dar el nombre, el material y el refuerzo, si es concreto; además, se le da el refuerzo y numero de barras.

Imagen 53. Sección Rectangular

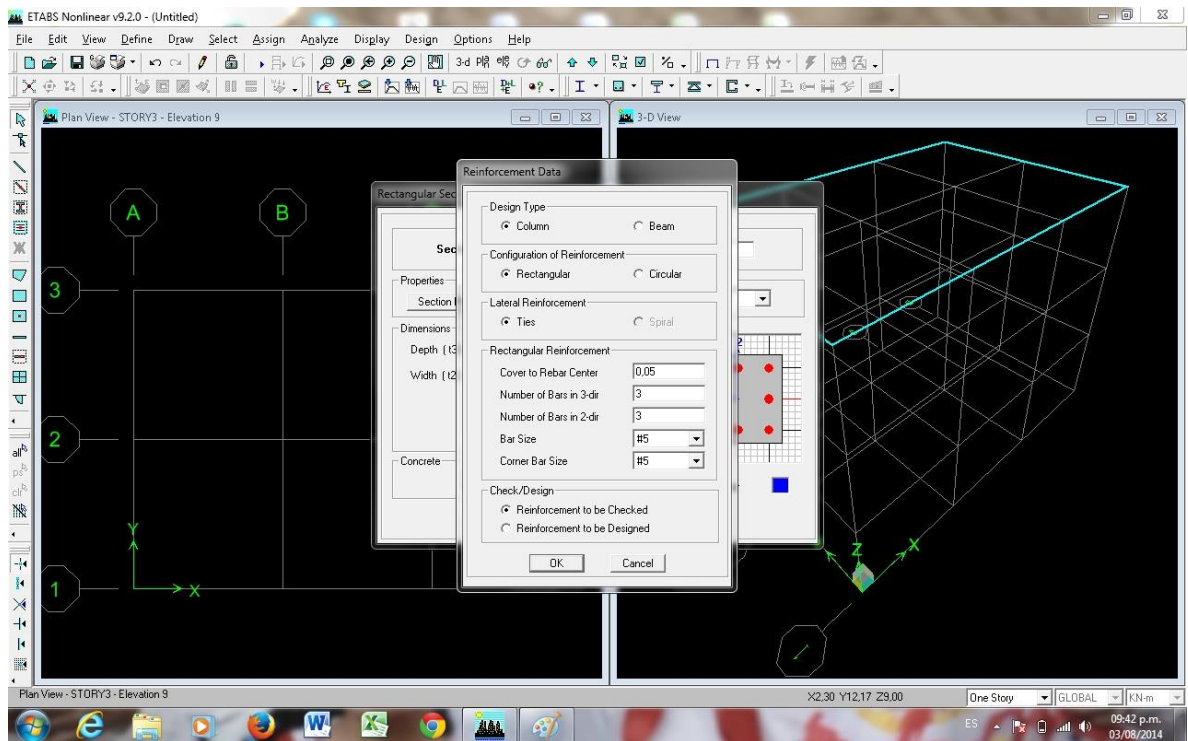


Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Sección Rectangular.

En esta opción se le asigna la función que desempeña como miembro estructural la sección, si es para columna o para viga, en la opción column se pueden asignar el nombre de la sección, que para nuestro caso todas las vigas y las columnas son de sección 30x30cm, por lo tanto se llamaran V30X30 y las columnas C30X30; esta opción permite también seleccionar el tipo de refuerzo transversal, si es rectangular o circular, el espesor de recubrimiento, el número de varillas, horizontales o verticales, y además se permite chequear la sección en la parte de inferior de la ventana.



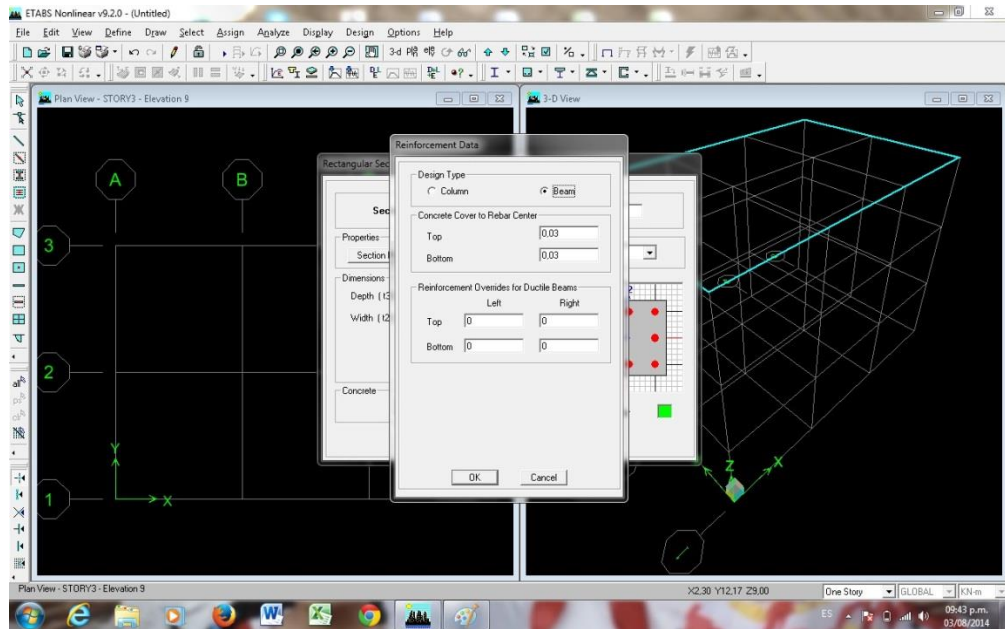
Imagen 54. Opciones de refuerzo para columnas.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Opciones de refuerzo para columnas.

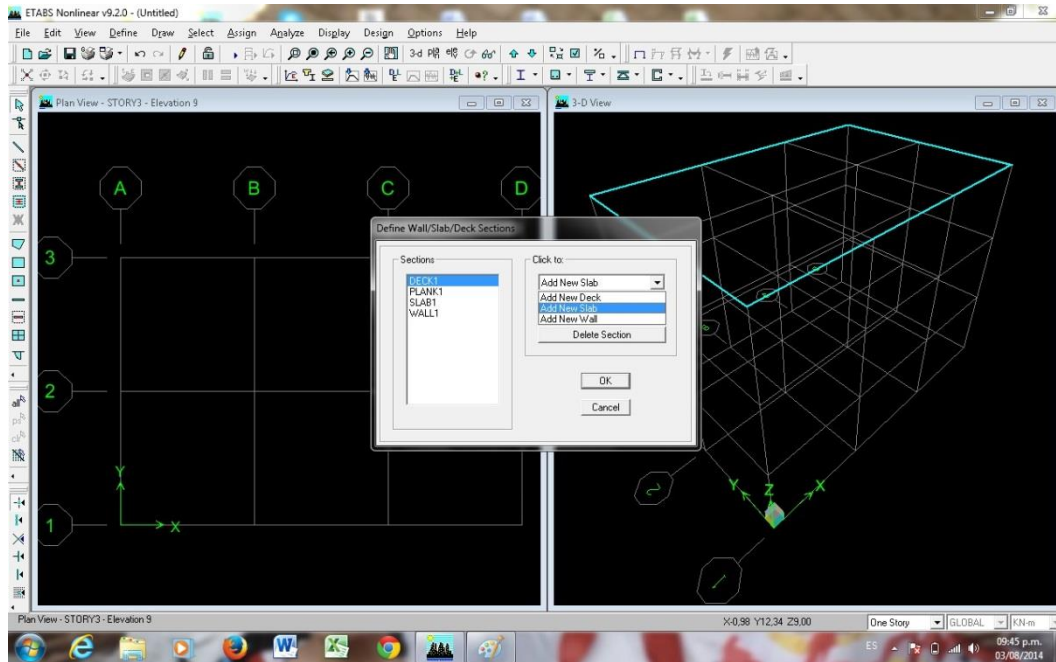
Para las vigas el programa no permite seleccionar el refuerzo, solo el recubrimiento, cabe resaltar que después del análisis el programa permite diseñar sus secciones con una aplicación propia, para las vigas se da clic en la misma opción *Add Rectangular*, y apareciera la misma ventana, sin embargo se selecciona la opción *Beam* (Columna).

Imagen 55. Refuerzo de viga



Fuente: CASTILLO NÁÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Opciones de refuerzo para columnas. Después de realizar el dimensionamiento de las secciones, procedemos a determinar las características de la losa, para ello seleccionamos en el menú *Define* la opción *Wall/Slab/Deck Section*.

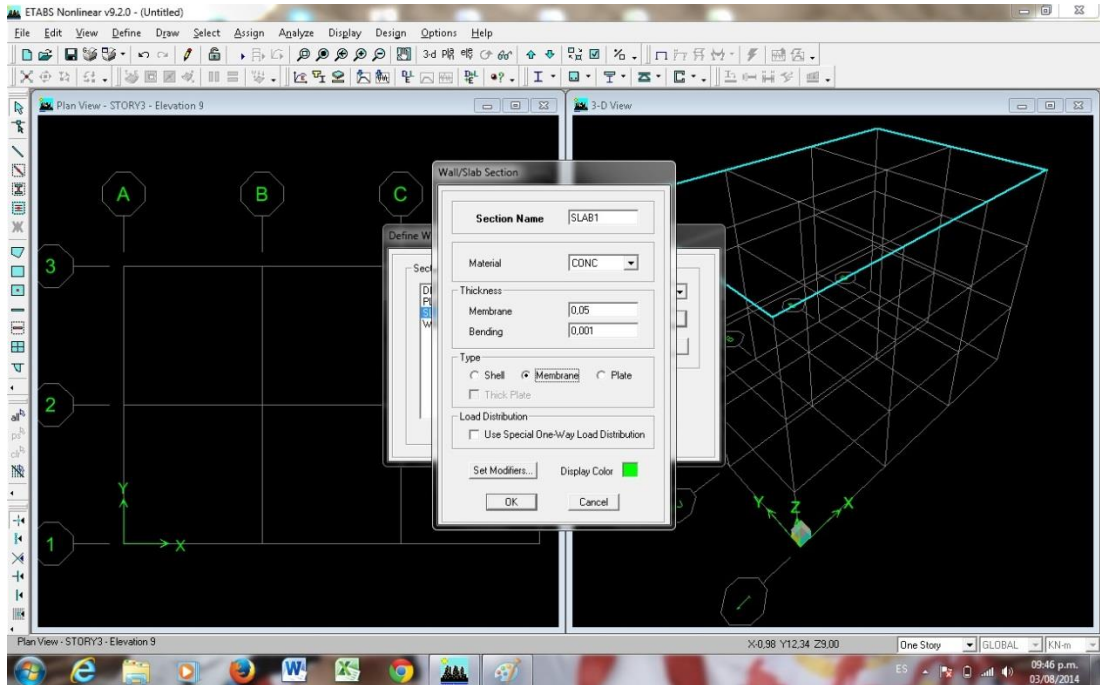
Imagen 56. Define Wall/Slab/Deck Section



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Define Wall/Slab/Deck Section.

Se selecciona la opción *Slab1* y damos clic en *Modify/Show Section*, esta opción nos permite darle el espesor a la losa, en esta opción aparece una ventana en la cual podremos definir el tipo de losa que se va a utilizar, para el caso en concreto escogemos la opción *Slab*, la cual nos permite modelar la losa para que no haga parte del sistema de respuesta sísmica, y, como la losa es igual para todos los entrespisos, posteriormente damos la opción en la derecha de la ventana *Modify/Show section*

Imagen 57. Wall/Slab Section



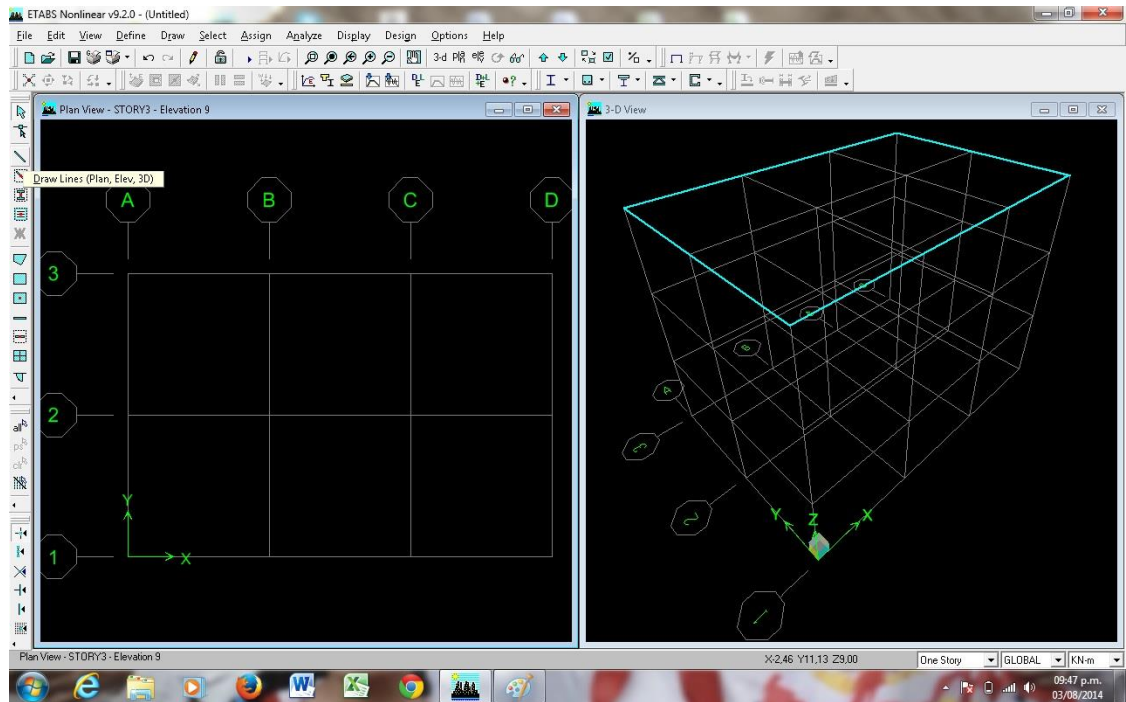
Fuente: CASTILLO NÁÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Wall/Slab Section.

En esta ventana podemos darle un nombre a la sección, escoger el material, el tipo, la forma de distribución de cargas (en una o dos direcciones), sus características como espesor y capacidad de flexión; para nuestro caso escogemos el mismo nombre que por defecto pone el programa “SLAB1”, el material: concreto, el tipo: membrana, distribución de cargas: unidireccional y el espesor (thickness) la opción Membrane=0.05 (que es el espesor de diseño o parte superior de la losa aligerada) y la opción bending=0.001; esta opción es la que permite excluir a la losa del sistema de resistencia sísmica.

Después de definir los materiales y las secciones que se utilizarán se precede a asignar estos a la estructura alámbrica, de la siguiente manera:

- Se desplaza el cursor a la izquierda de la pantalla, y damos clic en la opción *Draw Lines (Plan, Elev,3D)*

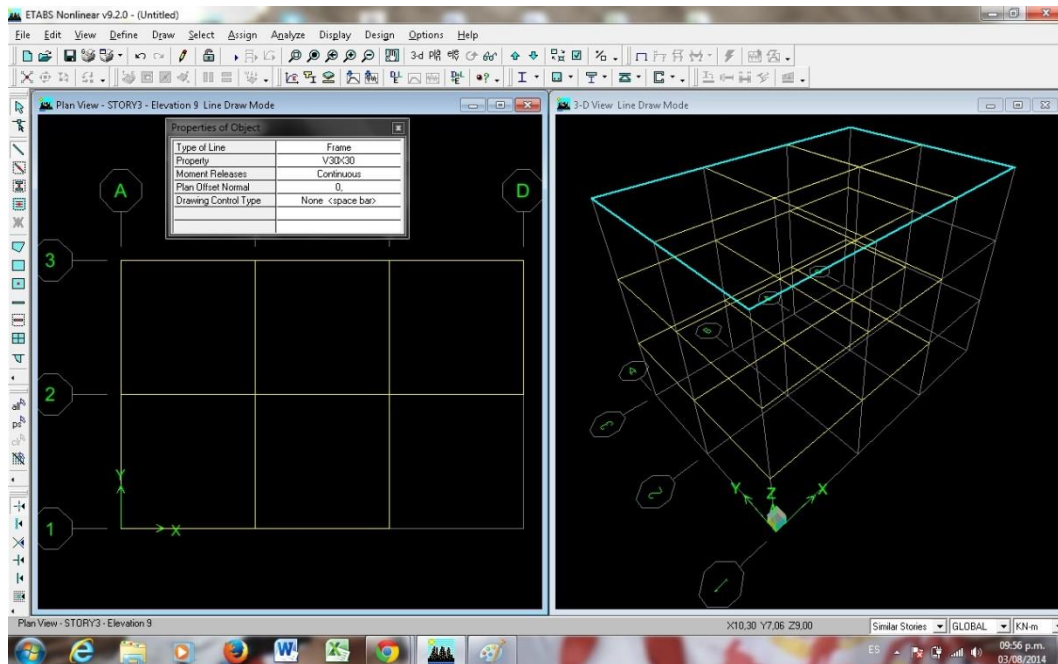
Imagen 58. Draw Lines



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Draw Lines.

Después de dar en la opción emergerá una ventana llamada *Properties Objects*, la cual nos permite seleccionar la sección transversal que se va a utilizar en las vigas, para el caso de nosotros la hemos denominado previamente V30X30.

## Imagen 59. Properties Objects

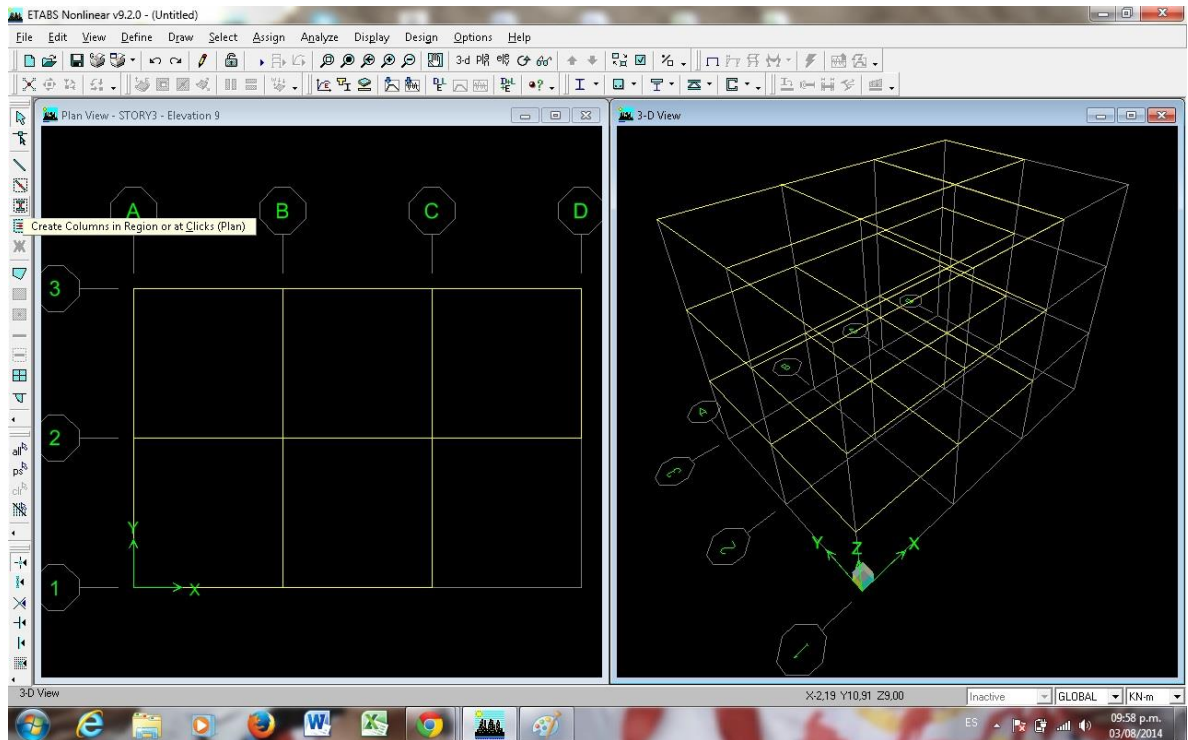


Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Properties Objects.

Después de haber seleccionado la sección que previamente habíamos definido, procedemos a poner el cursor en los nudos de inicio y fin de nuestra estructura de esta manera: primero nos dirigimos a la esquina inferior derecha de la pantalla y seleccionamos la opción *Similar Stories*, luego, nos dirigimos a la vista en planta de la parte izquierda de la pantalla y ponemos el cursor en forma de flecha en un nudo y se da clic sostenido hasta el nudo siguiente, de esta manera, se resaltarán los miembros con color amarillo en la ventana izquierda (en planta), y en la parte derecha se dibujarán en los tres entrepisos las vigas que hemos seleccionado.

Después de dibujar las vigas pasamos a dibujar las columnas, nos dirigimos al margen izquierdo de la pantalla y seleccionamos la opción *Create Columns in Region or at Clicks (Plan)*.

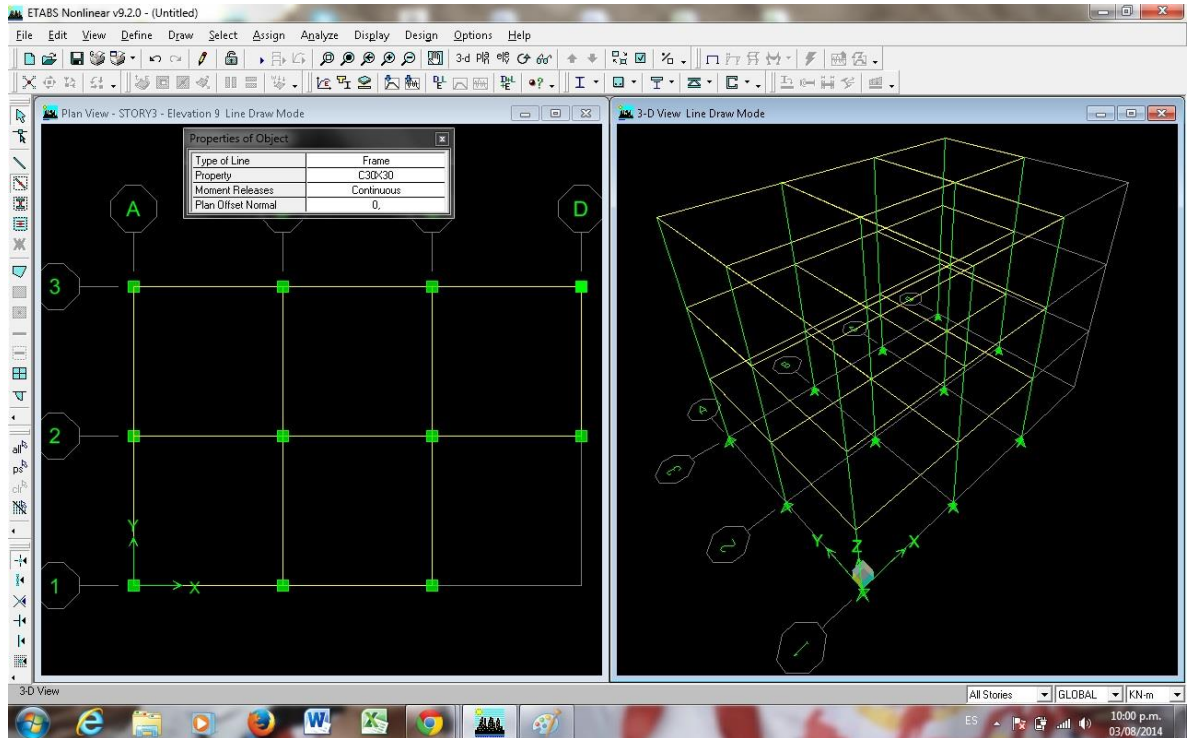
Imagen 60. Opción *Create Columns in Region or at Click (Plan)*



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Opción *Create Columns in Region or at Click (Plan)*.

Después de hacer clic en esta opción emergerá una ventana, igual que el anterior paso de designación de las vigas en toda la estructura, donde se puede escoger la sección transversal de los miembros estructurales en cuestión, en este caso escogemos la sección que previamente habíamos definido, para las columnas en este caso la sección es C30X30; para poder designar las columnas seguimos los siguientes pasos: primero nos dirigimos a la parte inferior derecha de la pantalla y damos la opción *All Stories*, posteriormente, nos dirigimos a la vista en planta de la estructura (parte izquierda de la pantalla), y por último, damos clic a los nudos donde se requieren los dichos miembros estructurales.

Imagen 61. Designación de columnas



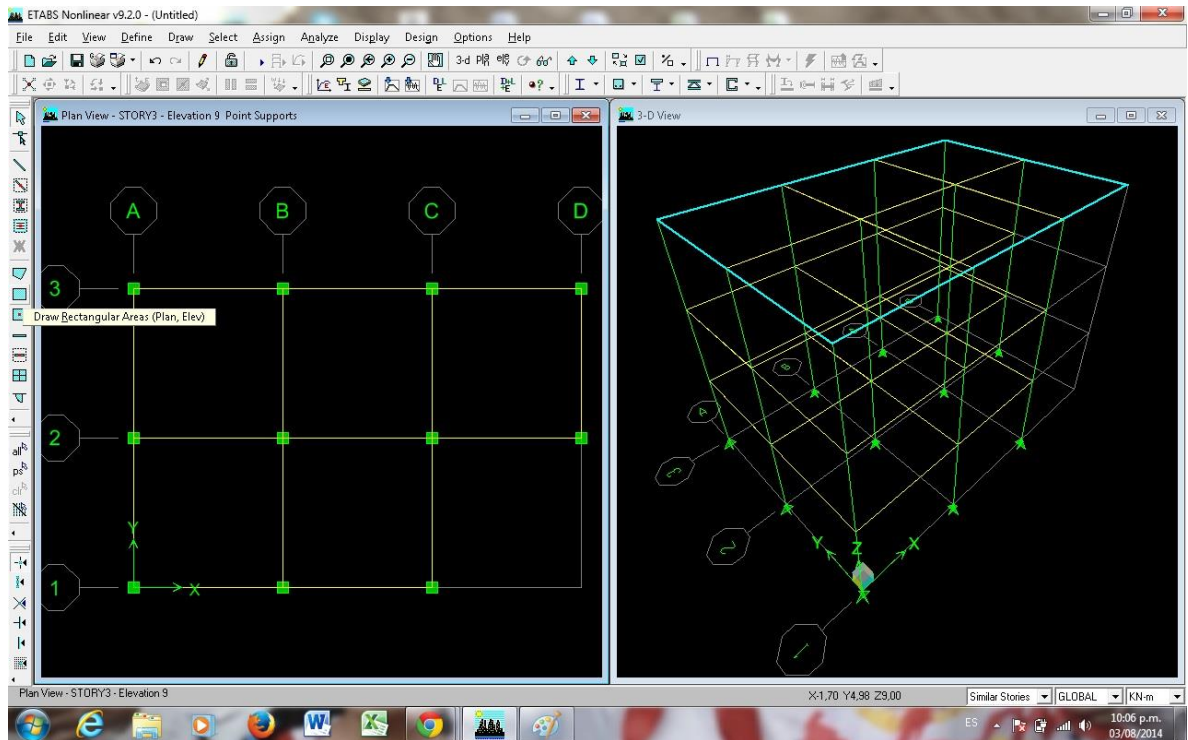
Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Designación de columnas.

Como se puede observar en la Imagen 61, en planta se designan los nudos donde están las columnas; al definir las columnas en planta, en la parte derecha de la pantalla se puede observar los miembros estructurales dibujados.

El paso siguiente consiste en definir en la estructura los elementos tipo área, para ello nos dirigimos a la margen izquierda de la pantalla y seleccionamos la opción *Draw Rectangular Areas (Plan, Elev, 3D)*.



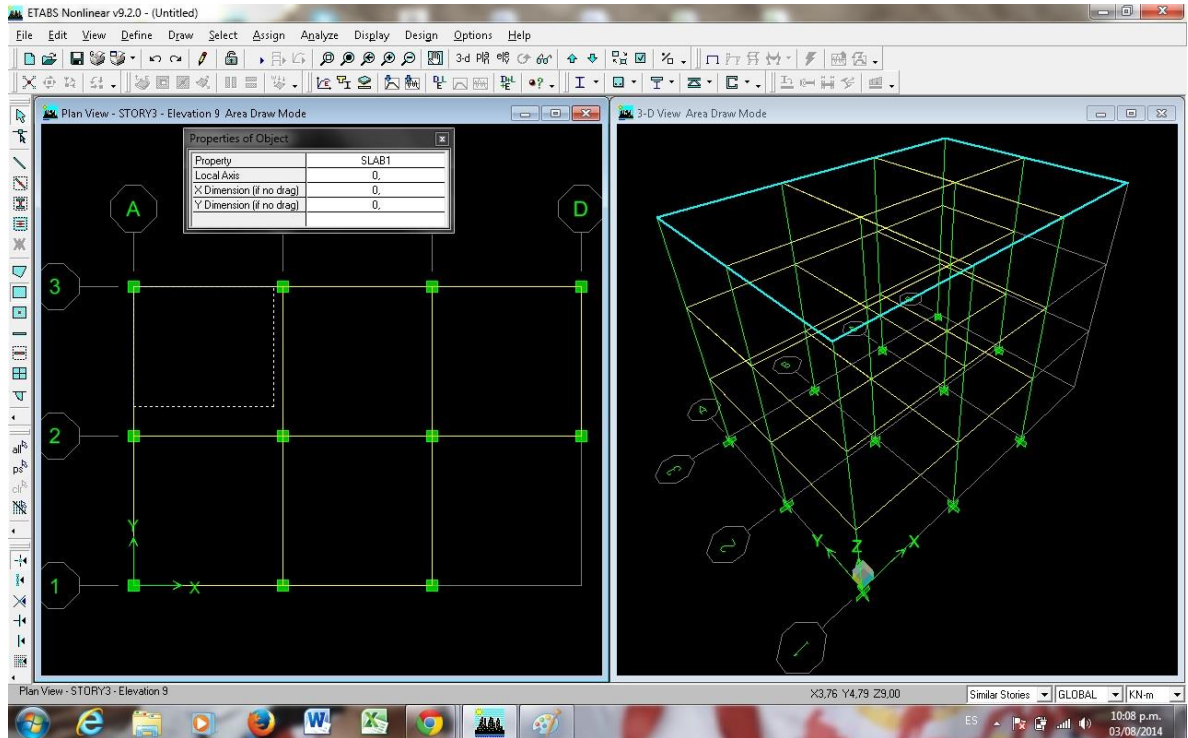
Imagen 62. Draw Rectangular Areas (Plan, Elev, 3D)



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Draw Rectangular Areas (Plan, Elev, 3D).

Al darle clic a esta opción, emerge una ventana, la cual permite escoger la losa que previamente se había definido, en este caso *Slab1*; después seguimos los siguientes pasos: primero, se dirige con el cursor a la parte inferior derecha de la pantalla y se selecciona la opción *Similar Stories*, luego, nos dirigimos a la vista en planta de la estructura y dando clic sostenido en un nudo o vértice de los cuatro que define un área rectangular, arrastramos el cursor hasta el nudo o vértice opuesto, como se muestra en la Imagen 63.

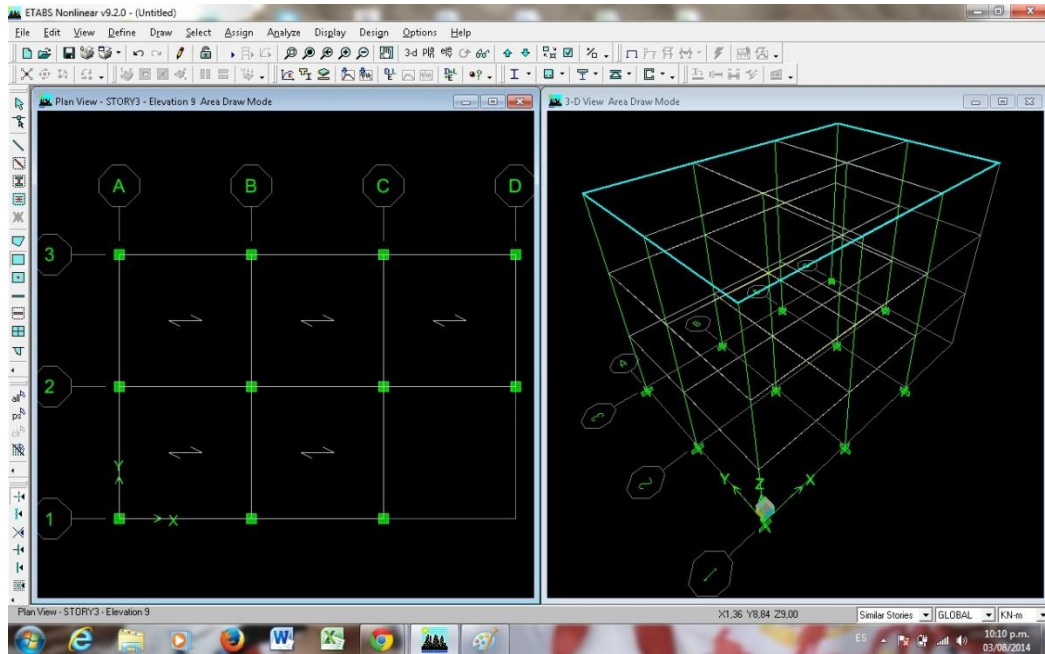
Imagen 63. Asignación de elemento tipo losa.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Asignación de elemento tipo losa

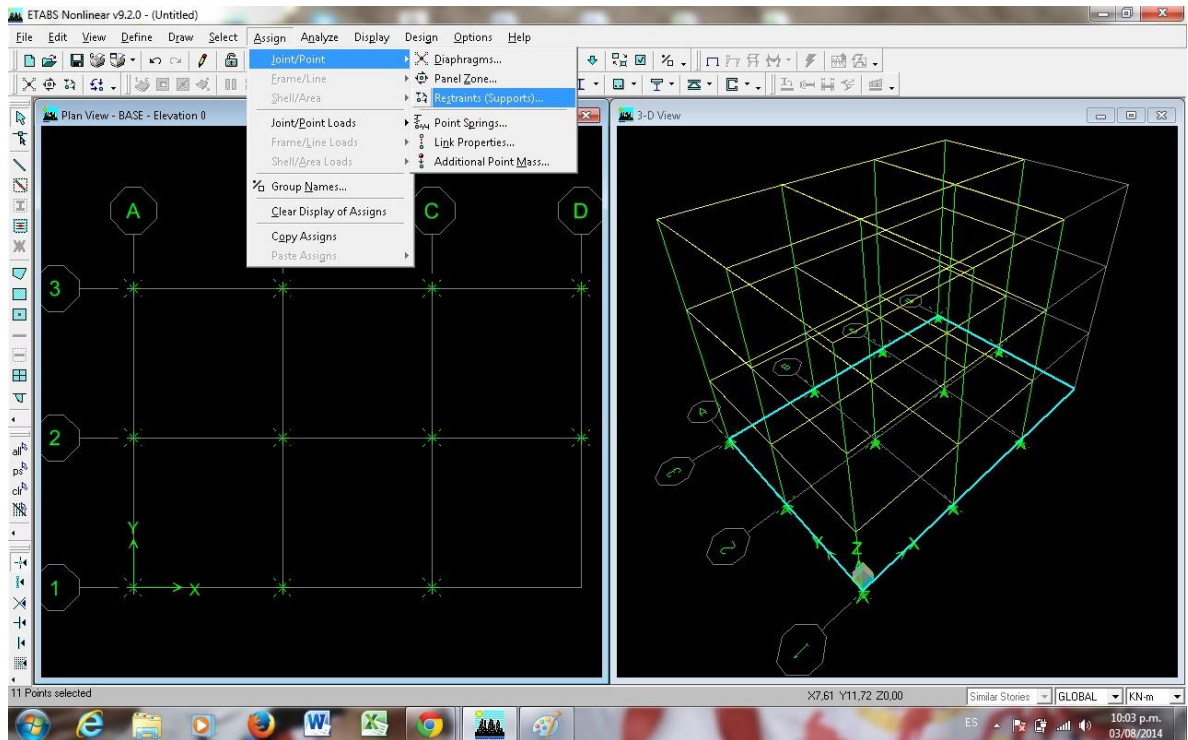
Después de asignar todos los elementos tipo losa, en la Imagen 64 se puede observar la dirección de distribución de las cargas de la losa, se procede a definir el tipo de apoyo de las columnas, de esta manera, el programa puede determinar cómo las cargas de la estructura son transmitidas al suelo de cimentación.

Imagen 64. Losa asignada para los entrepisos.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Losa asignada para los entrepisos. Para ello vamos a la parte inferior izquierda de la pantalla y damos la opción de *One Story*, después vamos a la vista en planta de la estructura y nos situamos en la base, para ello utilizamos las flechas azules claras que están en el menú de la parte superior de la pantalla, al utilizarlas debemos verificar que en título de la parte superior de la vista en planta de la estructura diga *Plan View-Base-Elevation 0*, de esta manera sabemos que estamos en la base de la estructura; posteriormente, en la vista en planta de la estructura, parte izquierda de la pantalla, seleccionamos con clic sostenido, toda la vista en planta, de esta manera, solo estaremos seleccionando los apoyos de la estructura, después de que está seleccionada, vamos al menú *Assign* y escogemos la opción *Join/Point* y damos clic en la opción *Restraints (Supports)*.

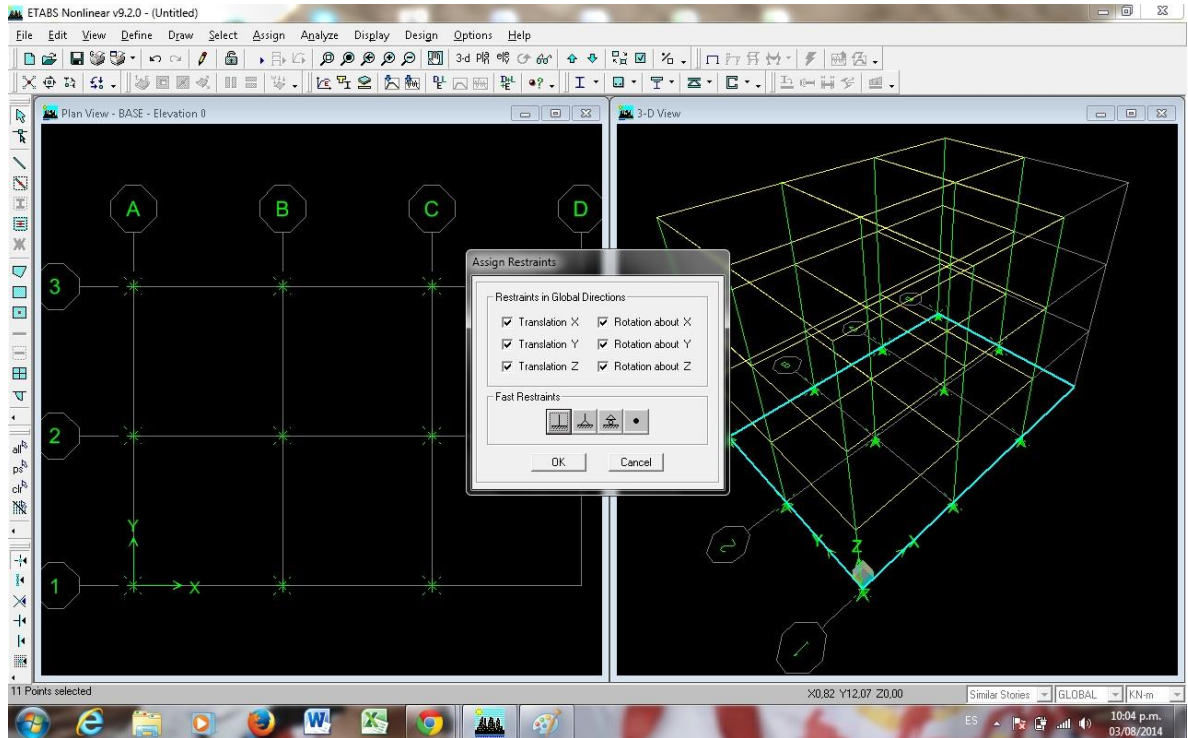
Imagen 65. Restricción de los apoyos



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Restricción de los apoyos

Después de dar clic en la opción *Restraints(Supports)*, que sirve para restringir los apoyos, aparecerá una ventana llamada *Assign Restraints*, en la cual damos en tipo de apoyo que le asignamos a la estructura, para el caso en cuestión, escogemos es de tipo empotrado, en parte inferior de la ventana hay una opción llamada *Fast Restraints*, en donde damos clic en la opción de empotramiento como muestra la Imagen 23 y damos OK, así estamos definiendo en tipo de apoyo, que para la estructura en cuestión es empotrado.

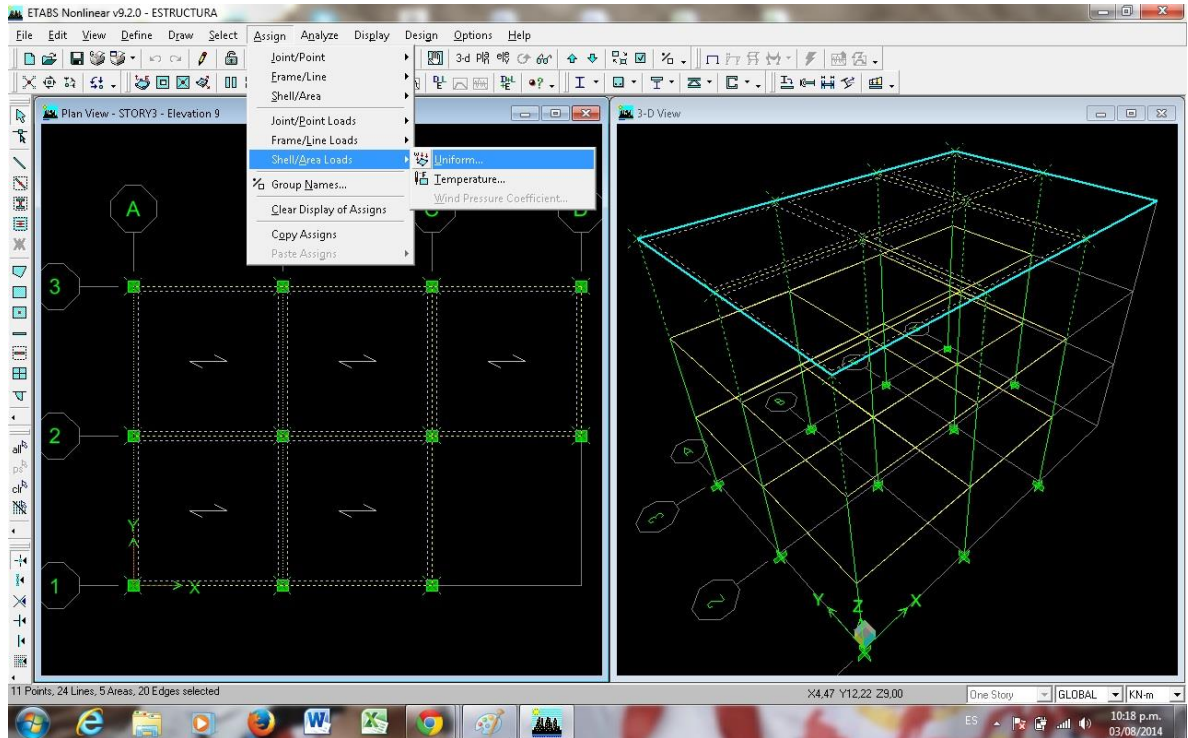
Imagen 66. Apoyo empotrado



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Apoyo empotrado

Después de dibujar la estructura, definir dimensiones de elementos estructurales y tipos de apoyo, pasamos a asignar las cargas que tendrá que soportar la estructura, las cuales se asignan como cargas distribuidas en los elementos tipo losa (NSR-10, Secc. B.3.4.3); estas cargas corresponden a acabados, muros y el casetón de la losa. Para ello nos situamos en la parte inferior derecha de la pantalla y ponemos la opción *One Story*, después vamos al entrepiso número 1 con las flechas azules del menú de la parte superior, posteriormente, nos vamos a la vista en planta y, con clic sostenido de esquina opuesta a esquina opuesta, seleccionamos todo el entrepiso, y con el puntero nos dirigimos al menú *Assign* en la parte superior y escogemos la opción *Shell/Area Loads*, donde emergerá una ventana llamada *Uniform Surface Loads*.

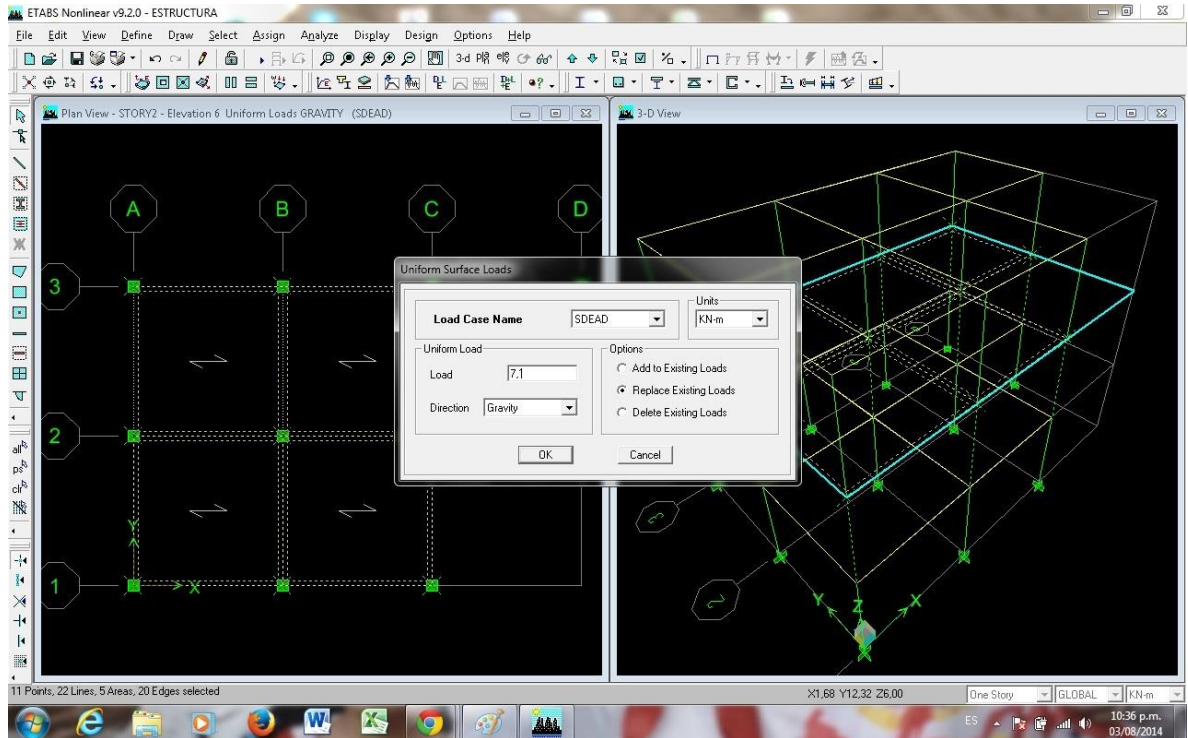
Imagen 67. Shell/Area Loads



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Shell/Area Loads

En la ventana emergente se puede definir el tipo de carga, si es viva o muerta, para el caso es carga muerta, ya que solamente se va a analizar el comportamiento de la estructura bajo la acción de su propio peso y la carga muerta, en este caso se hace la salvedad que los entrepisos 1 y 2 tienen cargas distribuidas iguales para ambos pero diferente para el piso 3 que se trata de una losa de cubierta.

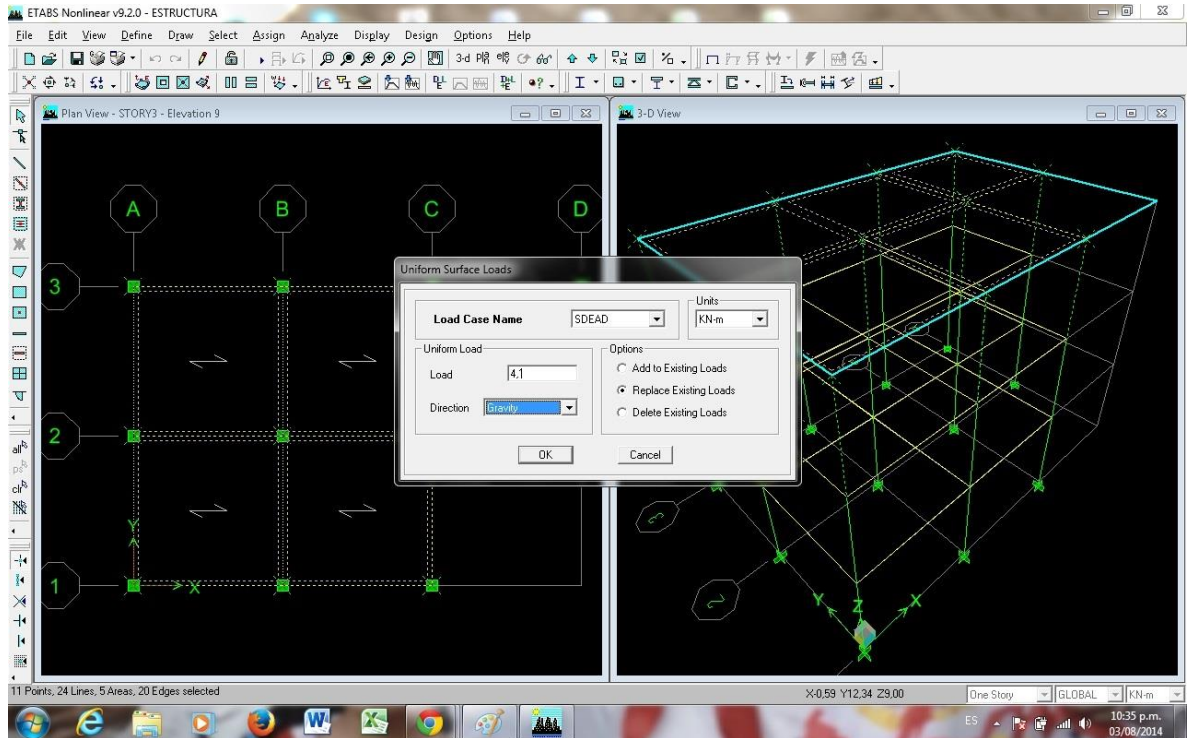
Imagen 68. Carga de entresijos 1 y 2.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Carga de entresijos 1 y 2.

El tipo de carga que asignamos en el campo *Load Case Name* es *SDEAD*, que significa que esta carga muerta es superpuesta a la carga muerta que aporta resistencia sísmica al sistema, en esta ventana se tiene que verificar que las unidades sean las de trabajo, para el caso en estudio las unidades son en kilonewtons-metro [KN-m], y la dirección de la carga asignada es la misma de la aceleración de la gravedad, además, en la casilla *Options* seleccionamos la opción *Replace Existing Loads*, de esta manera asignamos la carga muerta de los entresijos 1 y 2.

Imagen 69. Carga de Cubierta.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Carga de Cubierta.

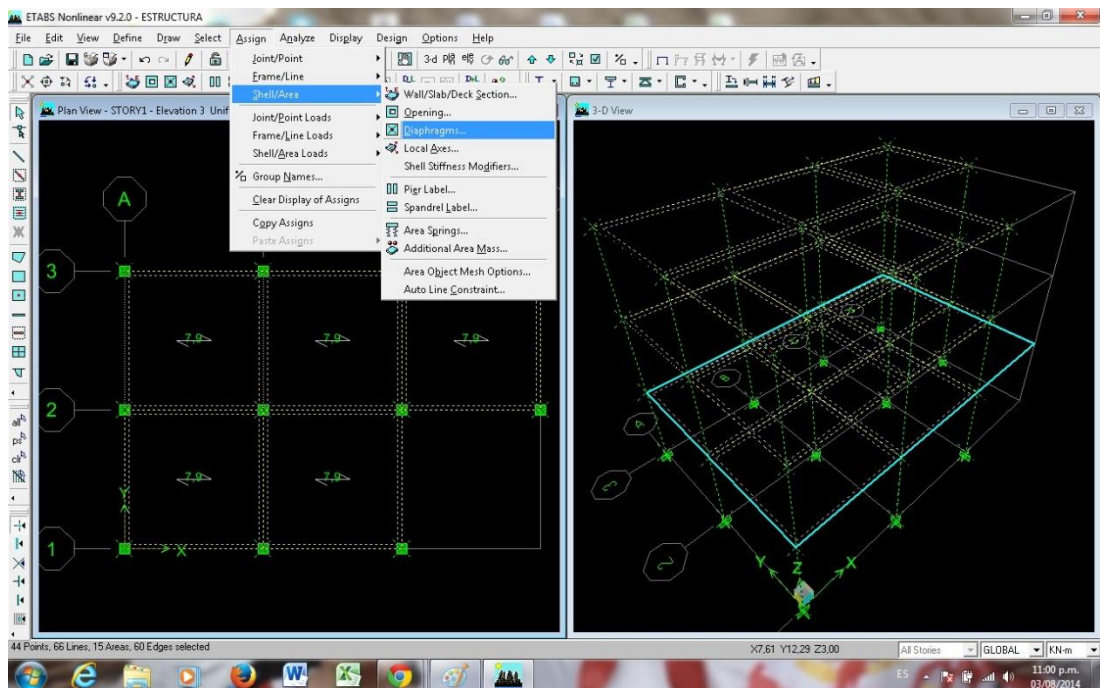
Para la asignación de la carga de cubierta realizamos los mismos pasos que para asignar la carga de los anteriores entrepisos; nos situamos en la cubierta donde, previamente, en la esquina inferior derecha de la pantalla seleccionamos la opción *One Story* y chequeamos que las unidades de trabajo sean las utilizadas desde el principio (KN), así, después de seleccionar el entrepiso damos clic en el menú *Asign* en la opción *Shell/Area loads* y en la opción *Uniform*; de ahí emerge la ventana *Uniform Surface Loads*, donde le asignamos la carga de cubierta calculada previamente con las especificaciones anteriores:

- Load Case Name: SDEAD
- Load: (lo calculado para cubierta anteriormente)
- Units: KN-m
- Direction: Gravity
- Options: Replace Existing Loads.



De esta manera se asignan todas las cargas para la estructura. El paso siguiente consiste en determinar el centro de rigidez de los entrepisos, para ello nos ubicamos en cualquier entrepiso y lo seleccionamos, previamente debemos tener en cuenta que se tomará cada entrepiso por aparte (*One Story*), una vez seleccionado el entrepiso nos dirigimos al menú *Assign* a la opción *Shell/Area* y posteriormente seleccionamos la opción *Diaphragms*.

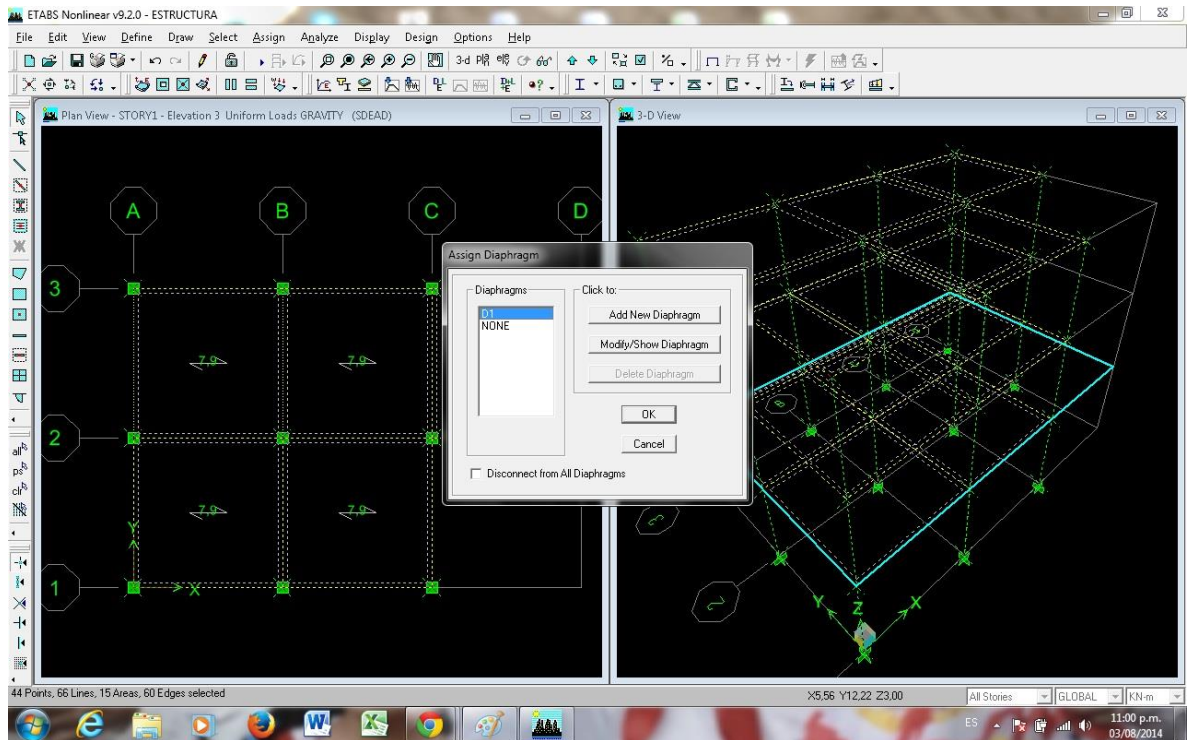
Imagen 70. Cálculo del centro de rigidez (Asignación del tipo de diafragma).



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Cálculo del centro de rigidez (Asignación del tipo de diafragma).

Al seleccionar la opción *Diaphragm* emerge una ventana llamada *Assign Diaphragm*, donde se define el tipo de diafragma, el cual, para el caso en estudio es un diafragma rígido, ya que es una de las premisas del método de estudio, las losas se comportan como diafragmas infinitamente rígidos en su plano, lo cual sugiere que no asumen un papel importante o más bien nulo, en el sistema de resistencia sísmica.

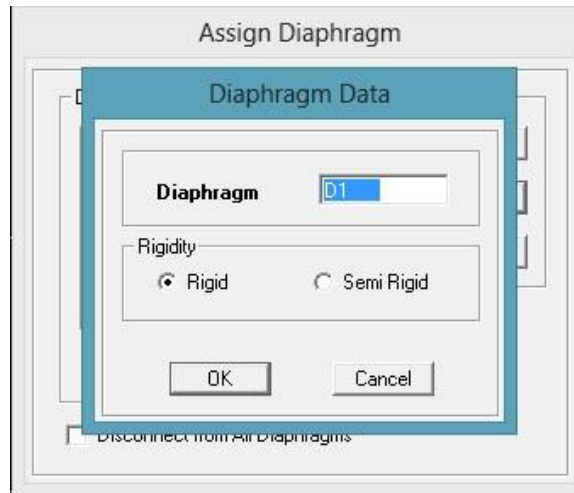
Imagen 71. Ventana *Assign Diaphragm*.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Ventana *Assign Diaphragm*.

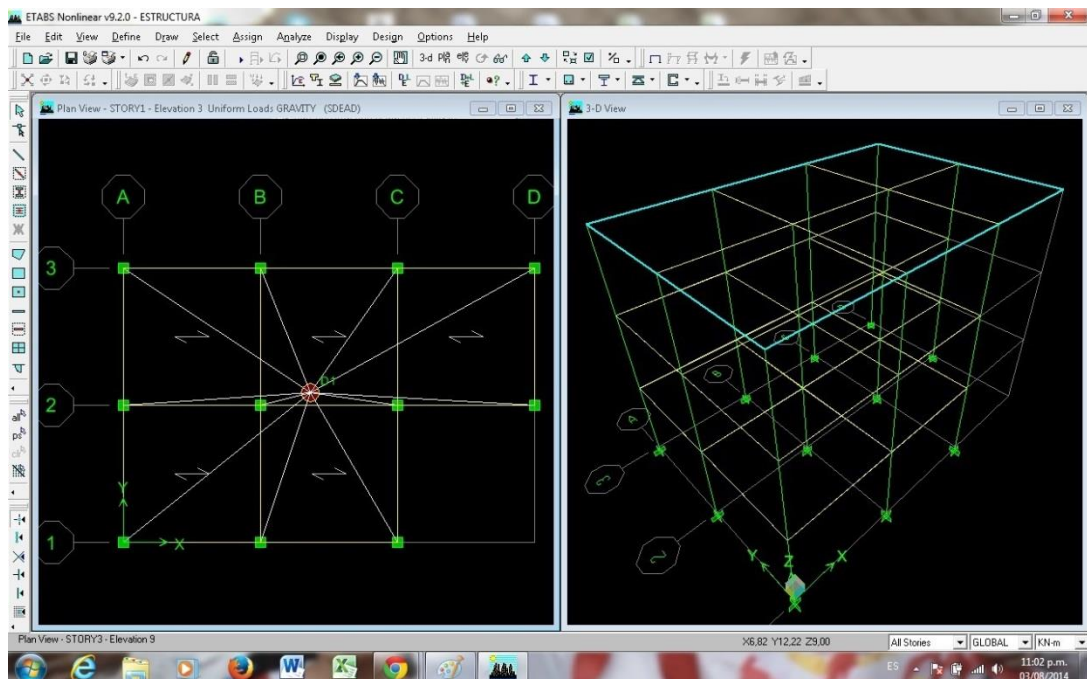
Para asignar el diafragma se puede crear un tipo de diafragma para cada entrepiso, sin embargo, en los 3 entrepisos se utilizará el mismo tipo de diafragma, en este caso es rígido para todos los entrepisos, entonces, en el lado izquierdo de la ventana *Assign Diaphragms*, aparecen los diafragmas existentes D1, que el programa pone por defecto, damos clic en él como aparece en la imagen 28 y nos dirigimos al lado derecho (*Click to*) de la ventana donde dice *Modify/Show Diaphragms*, emergerá una ventana llamada *Diaphragm Data*.

Imagen 72. Diaphragm Data (Assign Diaphragm ).



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Diaphragm Data (Assign Diaphragm ). En esta ventana (Imagen 29), seleccionamos *Rigid* en la opción *Rigidity*, y damos Ok en todas las ventanas, después de dar Ok aparecerá en la pantalla el centro de rigidez, como se muestra en la Imagen 30.

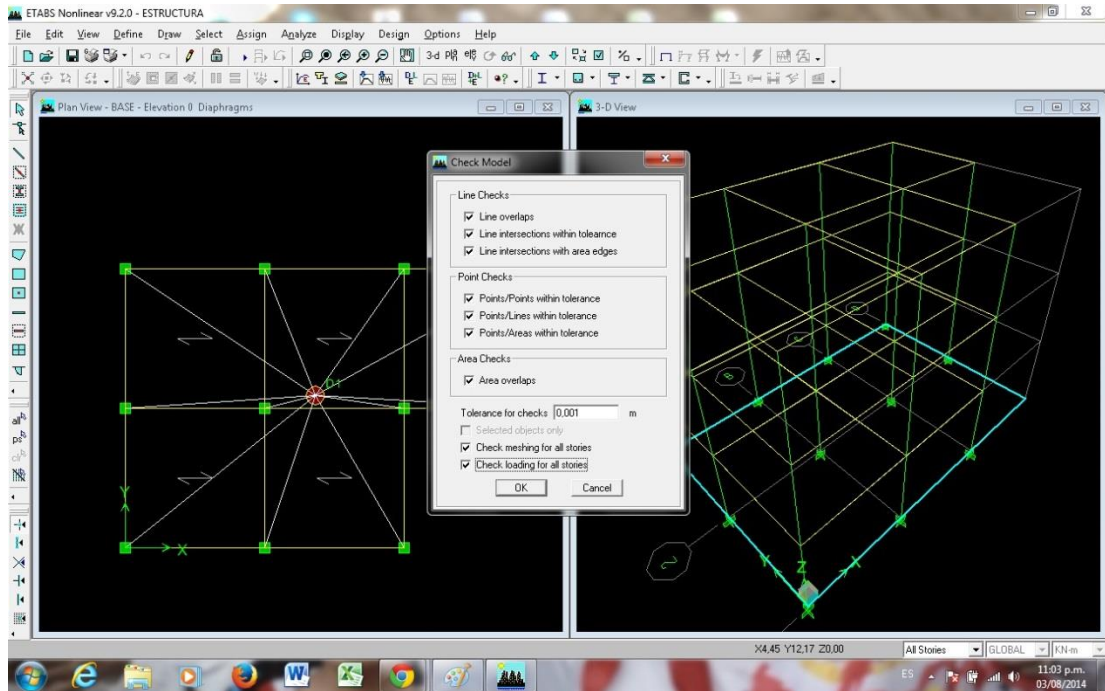
Imagen 73. Centro de Rigidez.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Centro de Rigidez. De esta manera se halla el centro de rigidez de todos los entrespisos.

Una vez determinamos los centros de rigidez de los entrepisos, podemos revisar nuestro modelo, mediante la opción *Check Model*, la cual se encuentra en el menú *Analyze*, como muestra la Imagen 74.

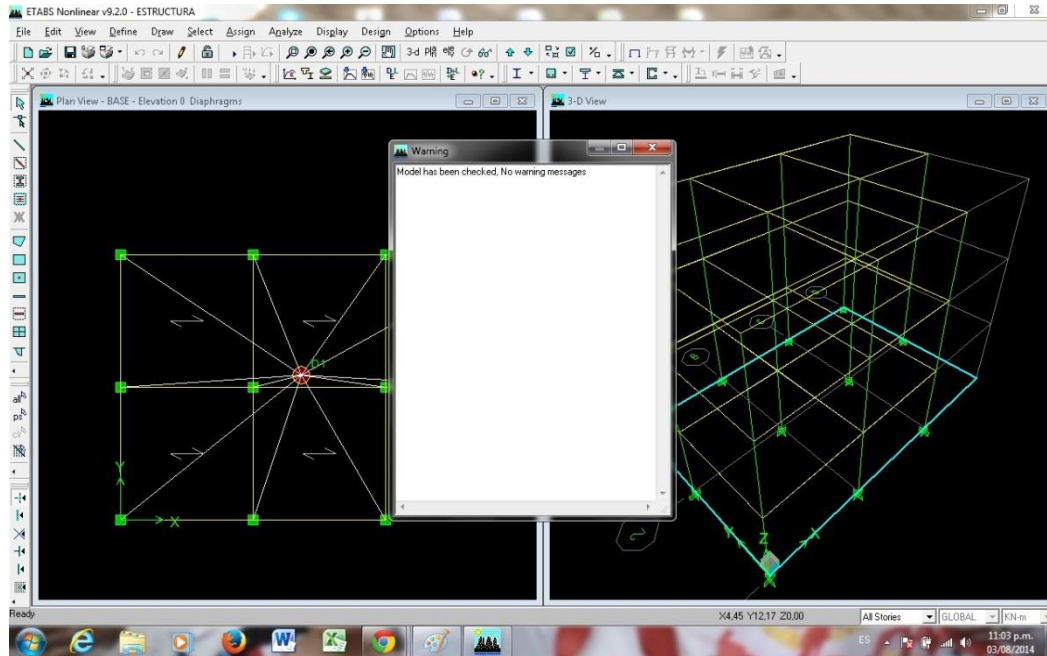
Imagen 74. *Check Model*.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Check Model.

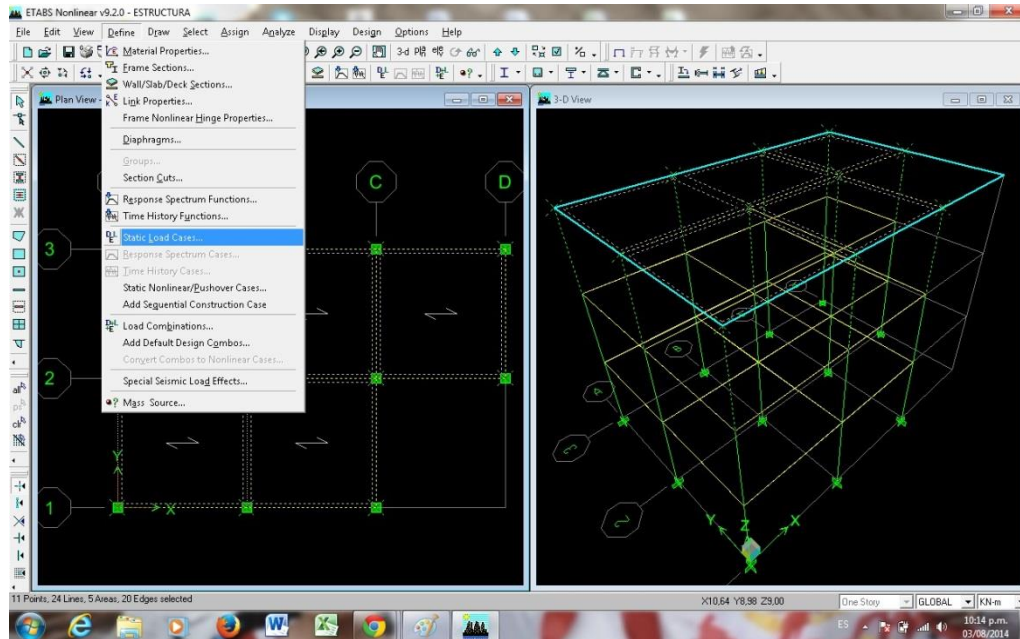
Esta opción permite detectar errores en los elementos que componen la estructura, tales como vigas, columnas, nudos y áreas; en la ventana seleccionamos todas las opciones y por último damos clic en OK, después de esto, aparecerá una ventana como la siguiente.

Imagen 75. Check Model Message.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Check Model Message. En este caso, se ha definido todas y cada una de las partes que componen la estructura de manera que el mensaje anterior advierte que no hay ningún error. Después de chequear el modelo de la estructura pasamos a definir las condiciones de sitio y de sismo para la estructura; para esto vamos al menú *Define*, en la opción *Static Load Cases*.

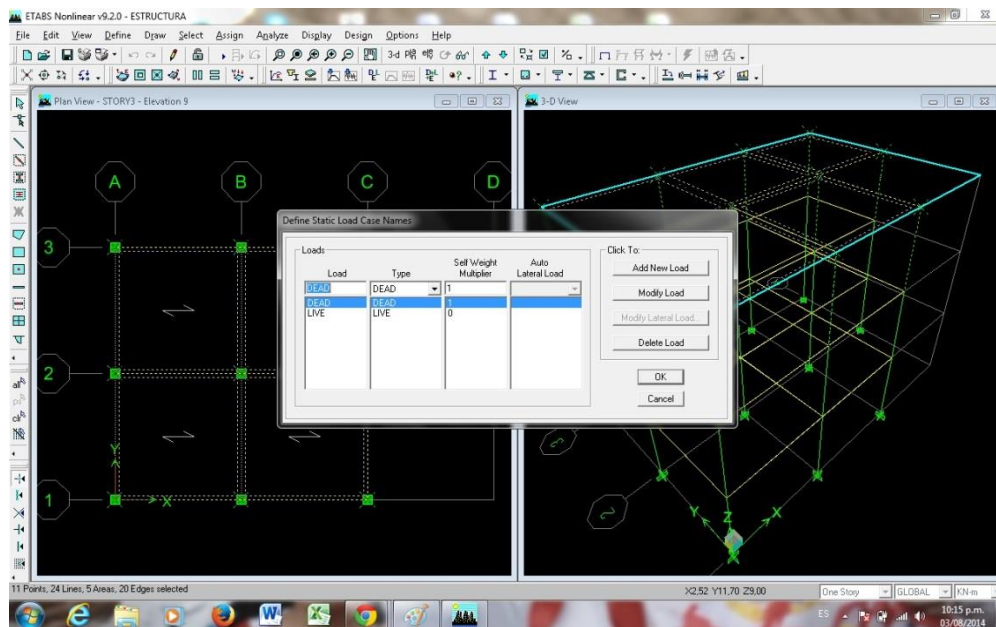
Imagen 76. Static Load Cases.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Static Load Cases.

En esta opción, el programa permite definir qué tipo de carga influye en el sismo y el porcentaje de participación de las mismas; así, cuando se da clic en la opción mencionada emergerá una ventana llamada *Define Static Load Case Names*.

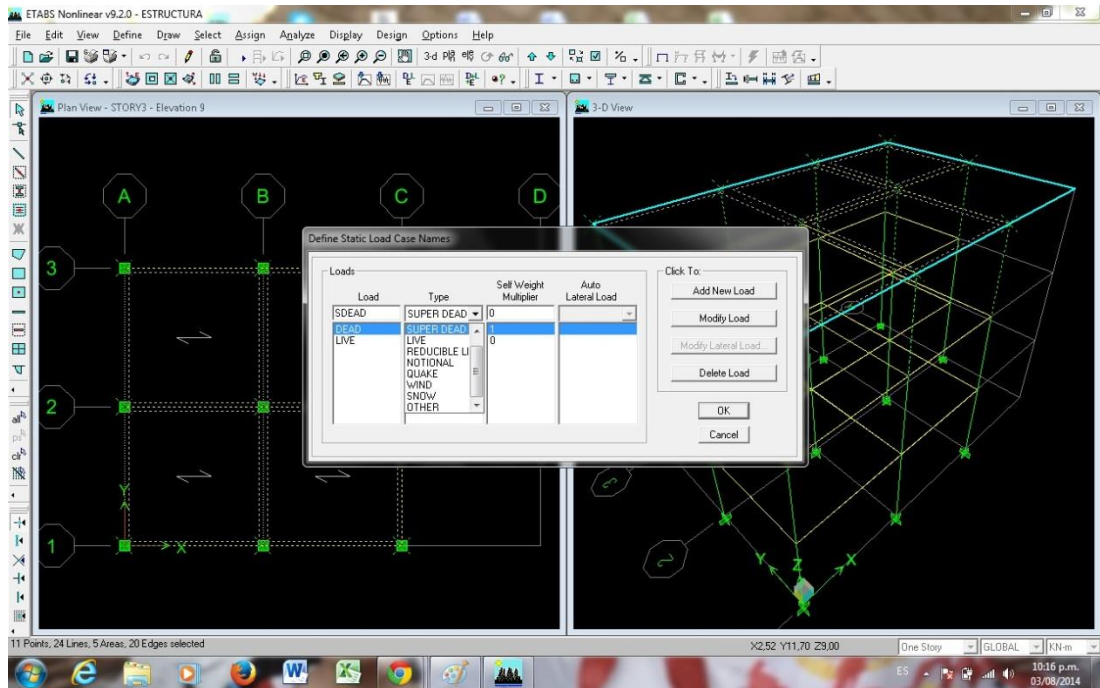
Imagen 77. *Define Static Load Case Names*.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Define Static Load Case Names.

En esta ventana aparece como defecto la carga viva (LIVE) con un factor multiplicador igual a 0 (cero) y la carga muerta (DEAD) con un factor multiplicador igual a 1 (uno), de esta manera se debe definir cualquier otro tipo de carga, en nuestro caso la carga a definir es la carga SDEAD.

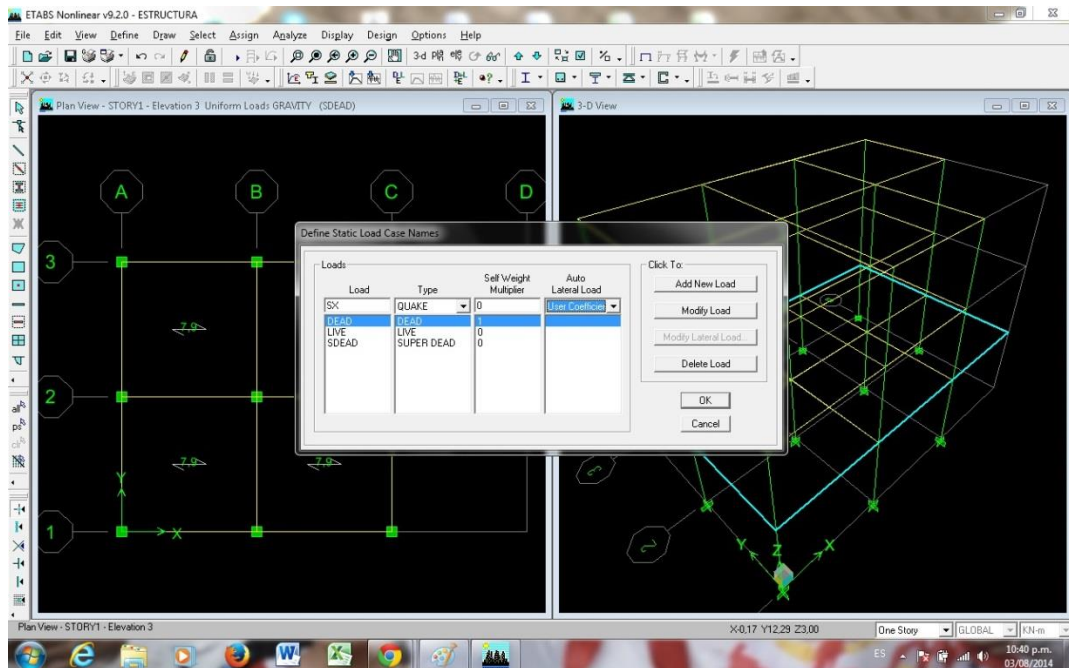
Imagen 78. Definición de SDEAD.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Definición de SDEAD.

Para el caso de la carga SDEAD el tipo de carga es SUPERDEAD que significa superpuesta a la carga muerta, se le asigna un factor igual a 0 (cero), y se le da OK. Luego, al definir el sismo en la dirección “X”, nombrando en Load “SX”, el tipo QUAKE, el factor multiplicador igual a 0 (cero), en la parte de Auto lateral Load damos clic en *User Coefficient* y dando clic en la parte derecha de la ventana, en el botón *Add New Load*, agregamos la carga de sismo.

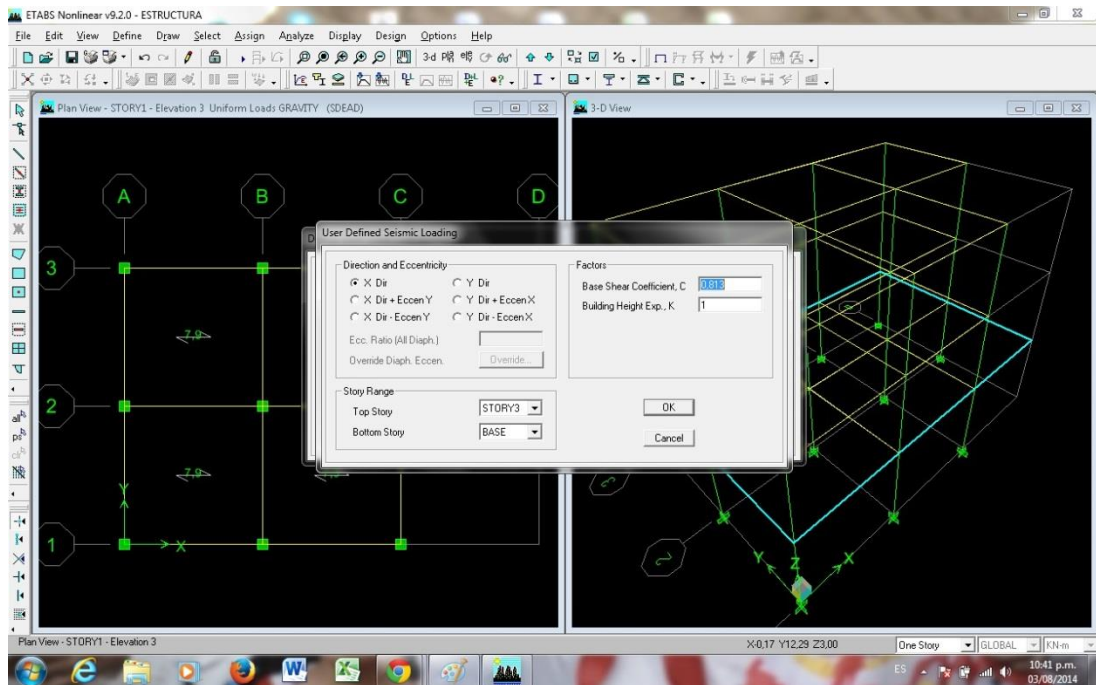
Imagen 79. Creación de la carga de sismo en dirección “X”.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Creación de la carga de sismo en dirección “X”.  
na vez creada la carga de sismo, se da clic en el botón llamado *Modify lateral Load* y emergerá una ventana llamada *User Defined Seismic Loading*, de esta manera se puede configurar la carga sísmica con los parámetros propios del lugar, dando valores a los coeficientes  $K$  y  $C$  que aparecen en la ventana, donde  $K$  es  $S_a$ : el valor del espectro de aceleraciones de diseño calculado anteriormente, que para el caso es 0,813, y  $C$  es  $k$  es un exponente que se relaciona con el periodo fundamental de la estructura.  $T$ , que para este caso  $T = 0,34$  segundos:  $k = 1,0$ .



Imagen 80. User Defined Seismic Loading.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. User Defined Seismic Loading.

El sismo definido en la dirección "X", es un sismo sin excentricidad el cual no produce un momento torsor; así, ponemos los coeficientes relacionados anteriormente, en la parte derecha de la ventana llamada *Factors*, en la parte de inferior de la ventana ponemos que parte de la estructura es afectada por este sismo, y ponemos en *Top Story* el último piso y en *Bottom Story*, *Base*; de esta manera, configuramos la carga de sismo para la estructura en cuestión.

Para efectos del diseño sísmico se debe afectar la estructura con todas las cargas de sismo posibles, en dirección "X" y dirección "Y", con excentricidad positiva y negativa, de esta manera se define, de entre todas las combinaciones posibles, las que peores efectos le produzcan a la estructura, esto permite diseñar la estructura para las condiciones más desfavorables del sismo en el sitio.

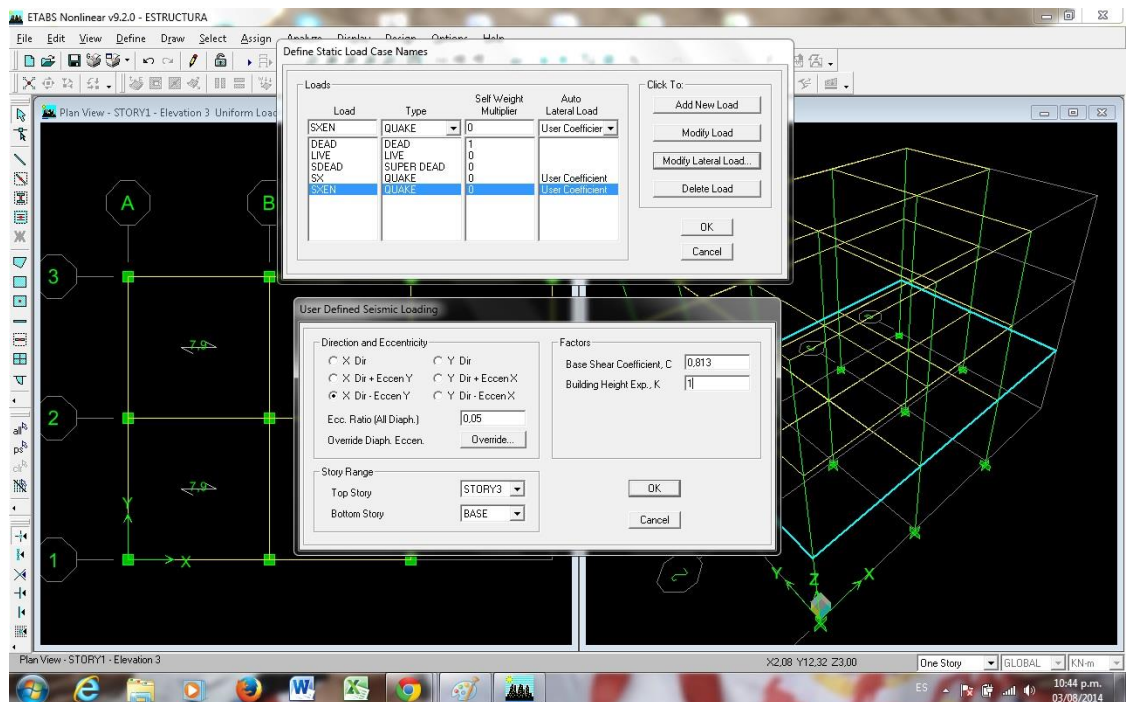
Teniendo en cuenta la nomenclatura utilizada se definen los siguientes casos de sismo:

- SX: Sismo en dirección "X"
- SY: Sismo en dirección "Y"

- SXEN: Sismo en dirección “X” con excentricidad NEGATIVA
- SXEP: Sismo en dirección “X” con excentricidad POSITIVA
- SYEN: Sismo en dirección “Y” con excentricidad NEGATIVA
- SYEP: Sismo en dirección “Y” con excentricidad POSITIVA.

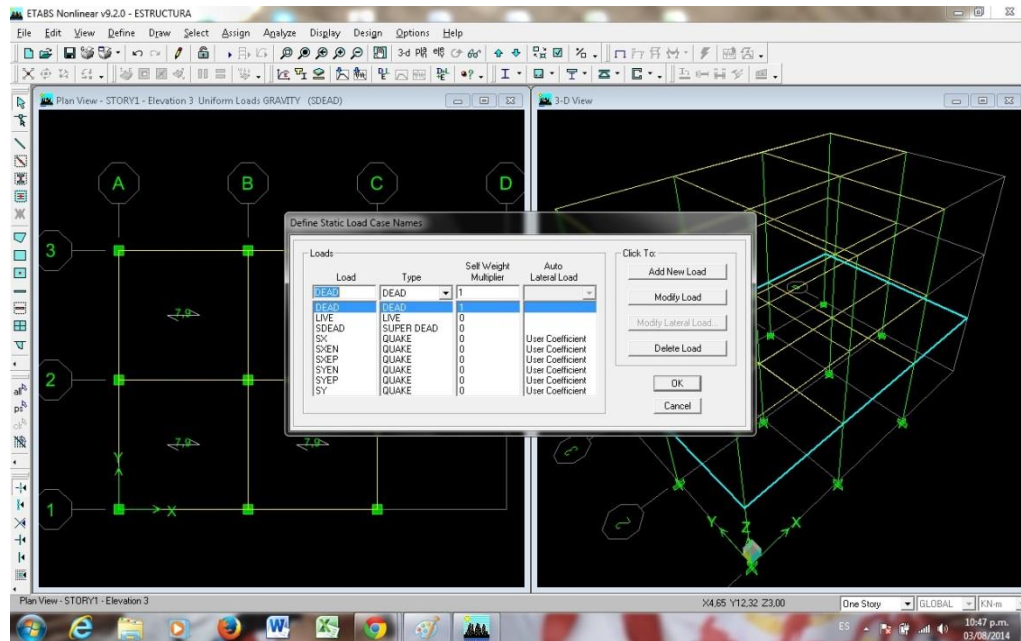
Para el caso del sismo con excentricidad se define de manera similar al anterior caso de sismo en “X” solo que en la ventana *User Defined Seismic Loading*, en la parte de *Direction and Eccentricity* se selecciona la excentricidad del caso, por ejemplo definiendo el sismo en “X” con excentricidad negativa, SXEN, como lo muestra la Imagen 81.

Imagen 81. Sismo en “X” con excentricidad negativa, SXEN.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Sismo en “X” con excentricidad negativa, SXEN. En la norma colombiana se define la excentricidad como el 5% de la longitud del entrepiso perpendicular a la carga, por lo tanto, al definir los sismos con excentricidad, en la opción *Ecc. Ratio (All Diaph)*, se activará automáticamente el valor de 0.05 en la casilla; y se le da OK.

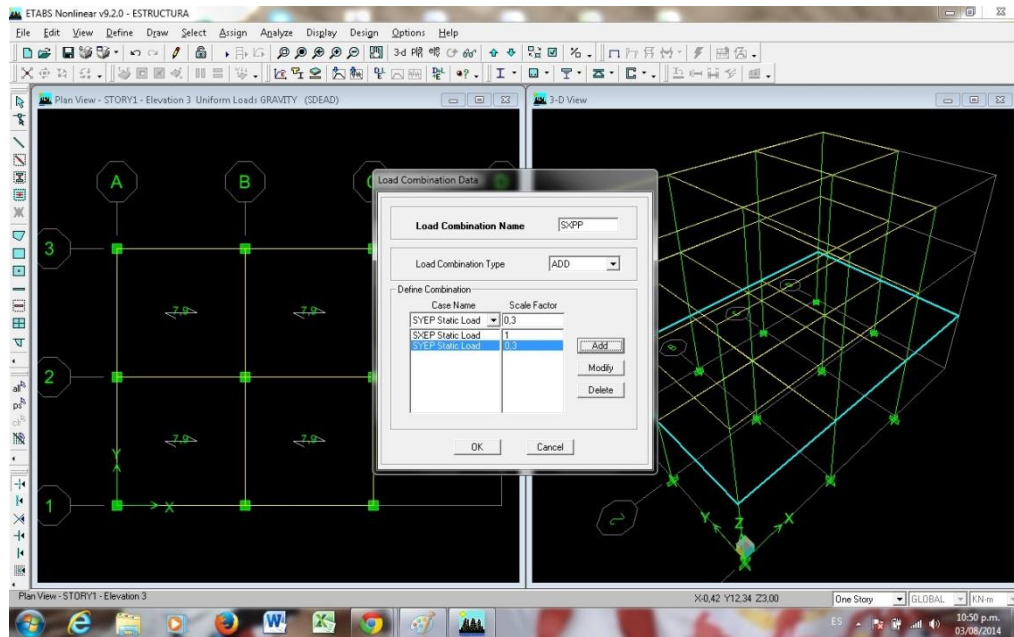
Imagen 82. Cargas que actúan en la estructura.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Cargas que actúan en la estructura.

Posteriormente, una vez definidos todos los casos de sismo, anteriormente citados, la norma colombiana advierte que para un mayor efecto del sismo sobre las estructuras, se debe tomar el sismo en la dirección definida y, adicionalmente, se le suma el 30% del sismo en la otra dirección; teniendo esto en cuenta, en el menú *Define*, se selecciona la opción *Load Combinations*, inmediatamente aparece una ventana llamada *Define load Combinations*, se da clic en la opción *Add New Combo*, al dar clic en esta opción emergerá una ventana llamada *Load Combination Data*, donde se puede definir las combinaciones de carga, como lo muestra la siguiente Imagen 83.

Imagen 83. Load Combination Data



Fuente: CASTILLO NÁÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Load Combination Data.

Teniendo en cuenta la nomenclatura utilizada se definen los siguientes casos de combinaciones de sismo:

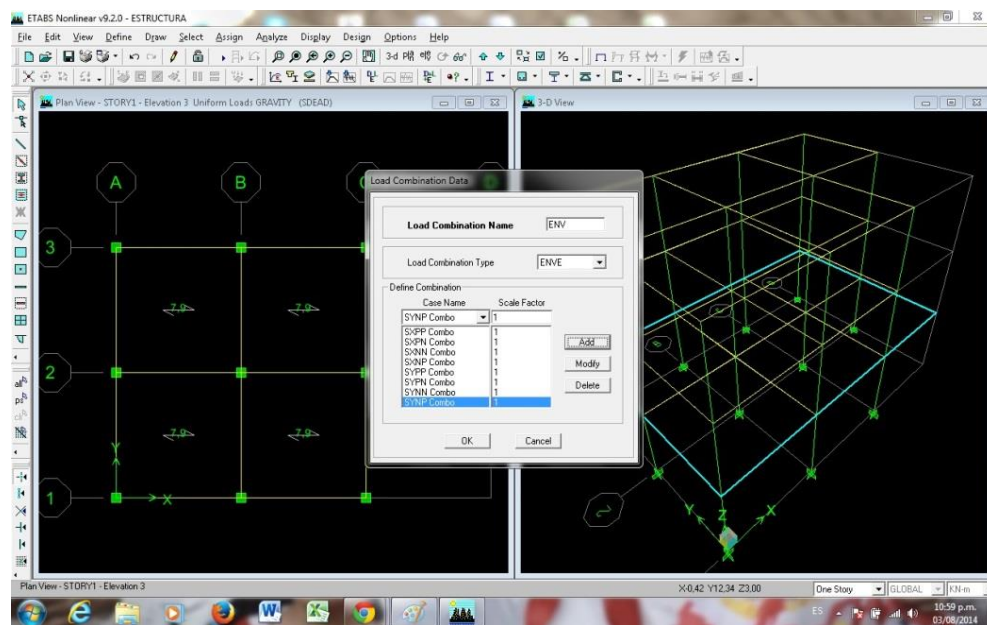
- SXPP: Sismo en “X” con excentricidad positiva y 30% Sismo en “Y” con excentricidad positiva.
- SXPn: Sismo en “X” con excentricidad positiva y 30% Sismo en “Y” con excentricidad negativa.
- SXnP: Sismo en “X” con excentricidad negativa y 30% Sismo en “Y” con excentricidad positiva.
- SXnN: Sismo en “X” con excentricidad negativa y 30% Sismo en “Y” con excentricidad negativa.
- SYNp: Sismo en “Y” con excentricidad negativa y 30% Sismo en “X” con excentricidad positiva.
- SYNn: Sismo en “Y” con excentricidad negativa y 30% Sismo en “X” con excentricidad negativa.
- SYpP: Sismo en “Y” con excentricidad positiva y 30% Sismo en “X” con excentricidad positiva.

- SYPN: Sismo en “Y” con excentricidad positiva y 30% Sismo en “X” con excentricidad negativa.

Teniendo en cuenta las pautas del diseño sismoresistente y lo planteado por el método planteado aquí, se debe obtener de este análisis el efecto más desfavorable de entre todas las combinaciones de carga definidas anteriormente, con esto se pretende diseñar con un margen de seguridad lo suficientemente amplio para que la estructura pueda obtener un comportamiento aceptable durante el sismo sin colapso.

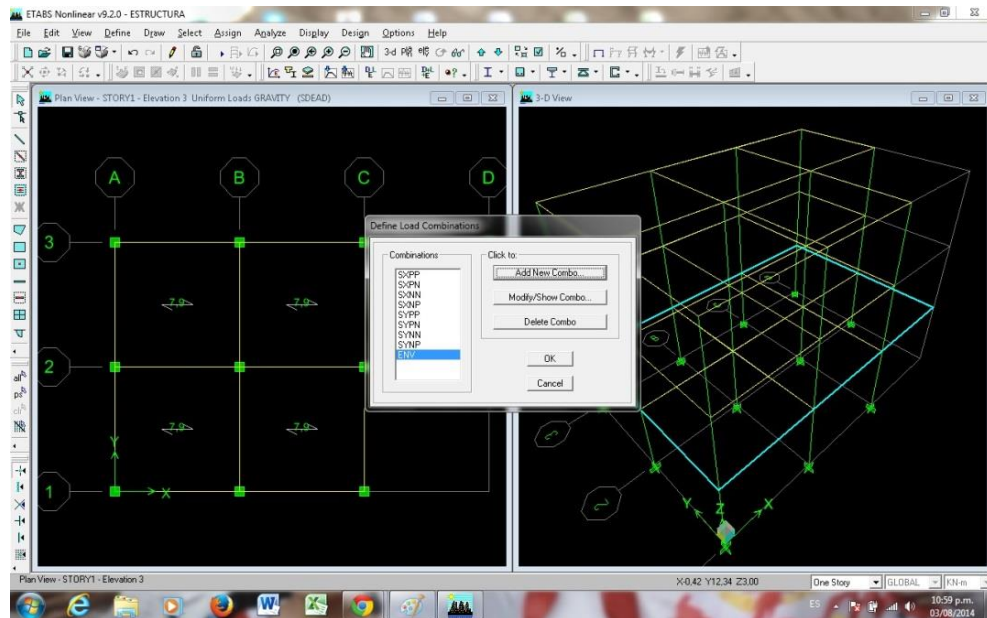
Para poder definir el peor efecto se debe determinar una envolvente, la cual debe contener todas las combinaciones, para ello se accede al menú *Define*, en la opción *Load Combinations* y se pulsa el botón *Add new Combo*, de ahí emergerá una ventana llamada *Load Combination Data*, y seguidamente se diligencian los espacios en blanco, como se muestra en la imagen 84.

Imagen 84. Envolvente de los casos de sismo.



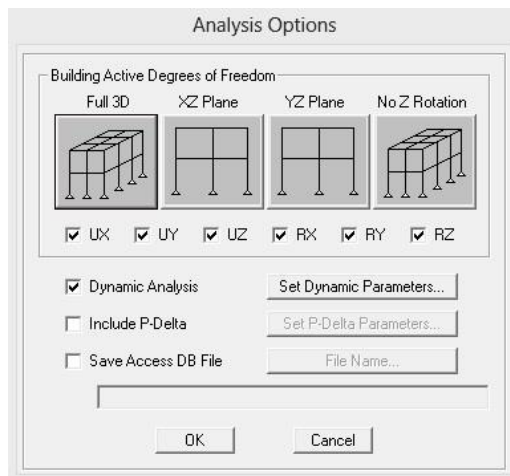
Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Envolvente de los casos de sismo.

Imagen 85. Combinaciones de Carga total.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Combinaciones de Carga total. De esta manera se tiene todo lo recomendado por la norma, así, después de determinar los materiales, la geometría, las cargas y definir los sismos que afectan la estructura, se procede a realizar el análisis de la estructura, para ello se dirige al menú *Analyze* y se selecciona la opción *Set Analysis Options*, donde emergerá una ventana llamada *Analysis Options*, en esta ventana se clic en el botón *Full 3D*, inmediatamente se activa las casillas UX, UY, UZ, RX, RY y RZ.

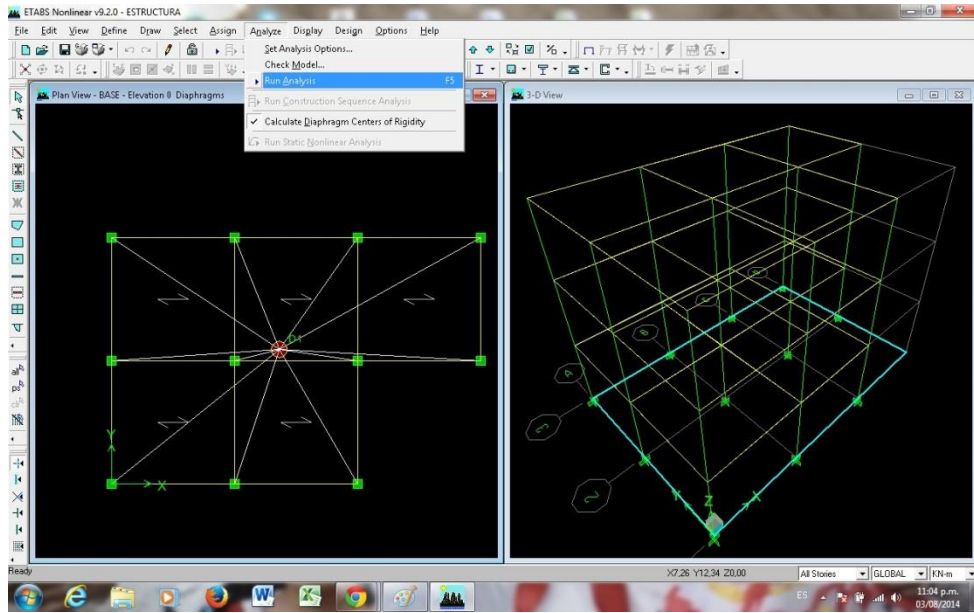
Imagen 86. Ventana de *Analysis Options*



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Ventana de *Analysis Options*.

Después de darle al programa la forma de analizar la estructura, se procede a ejecutar el análisis, para ello se selecciona el menú *Analyze*, y se da clic en la opción *Run Analysis* o se pulsa la tecla F5.

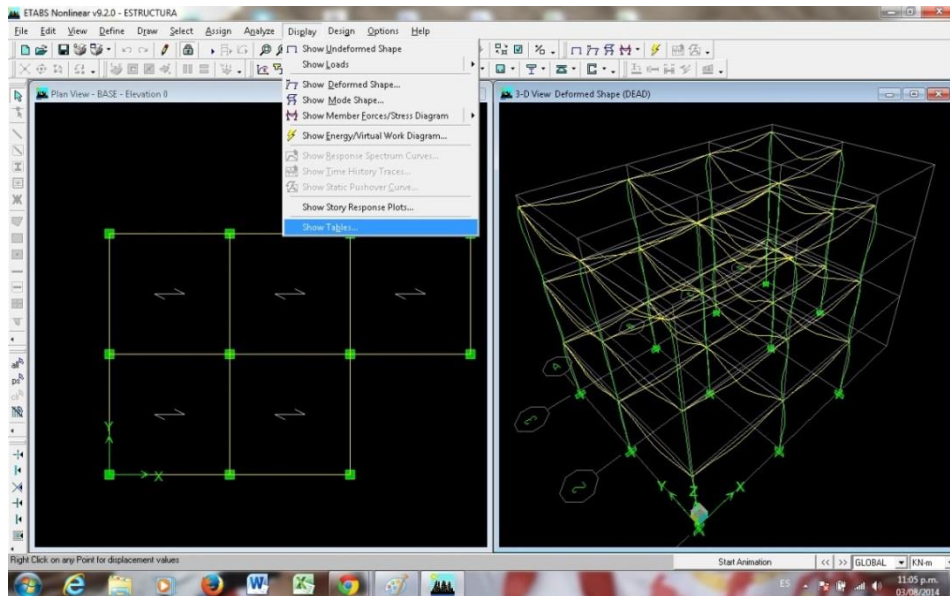
Imagen 87. *Run Analysis*.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Run Analysis.

El programa tarda unos pocos segundos en hacer el análisis, después, se pueden observar los respectivos resultados; para ello, se selecciona en el menú *Display* la opción *Show Tables*.

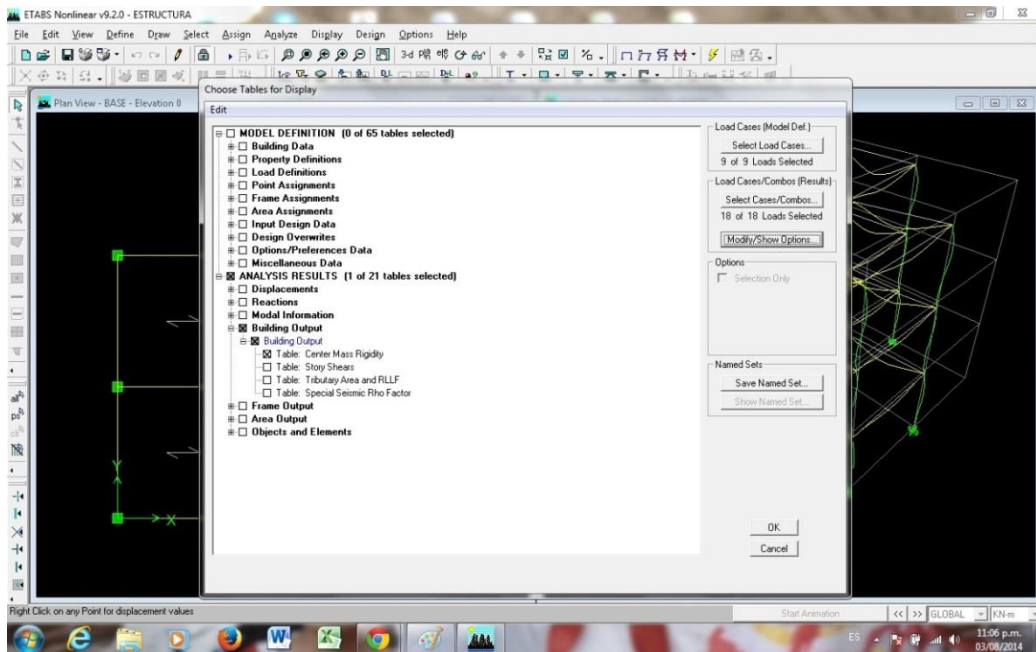
Imagen 88. *Show Tables*.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Show Tables.

Al seleccionar la opción *Show Tables*, es posible escoger el resultado que se necesite, en este caso se seleccionan, desplazamientos, reacciones, momentos, fuerzas y centros de masa y de rigidez.

Imagen 89. *Choose tables for display*



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa *ETABS*. Choose tables for display.

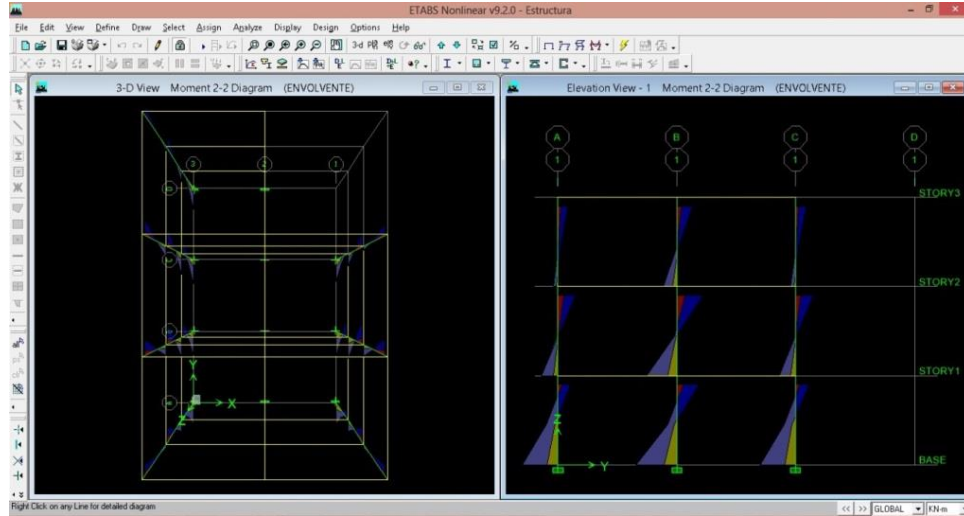


### 3.4. RESULTADOS

De esta manera obtenemos los datos para la comparación en que se fundamenta este trabajo de investigación.

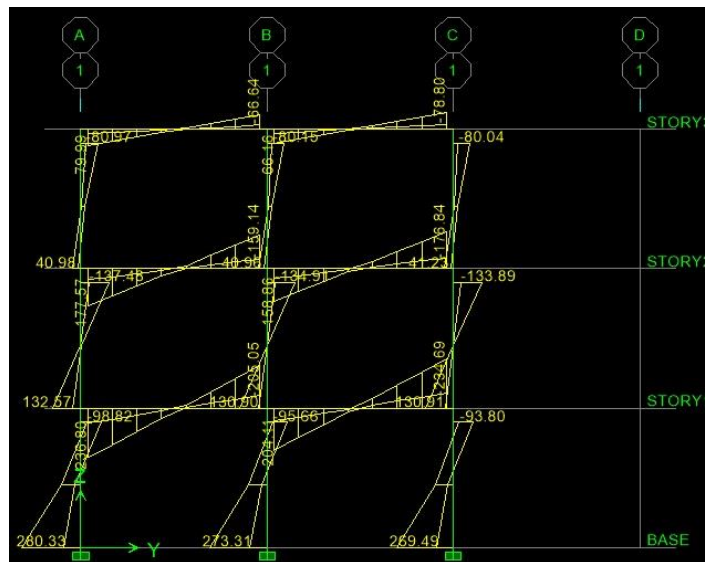
También se muestran los resultados del análisis de toda la estructura así como lo muestran las Imagenes 90 y 91.

Imagen 90. Resultados análisis pórtico 1. Diagramas de Momento 2-2 Envolvente.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Resultados análisis pórtico 1. Diagramas de Momento 2-2 Envolvente.

Imagen 91. Resultados análisis pórtico 1. Valores de Momento 2-2 Envolvente.

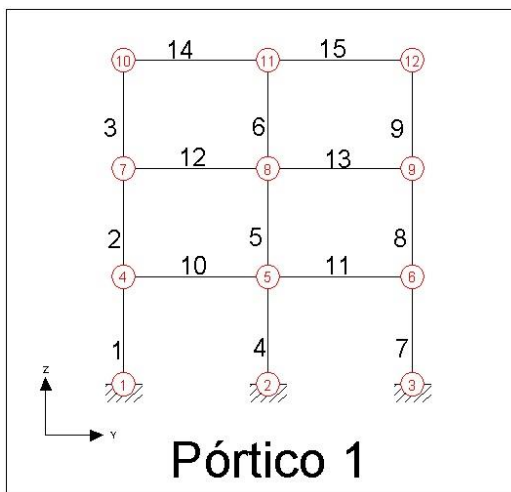


Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Programa ETABS. Resultados análisis pórtico 1. Valores de Momento 2-2 Envolvente..

#### 4. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE DATOS.

Para el análisis y comparación de los datos se tomará como base el pórtico 1, con el cual se compararán los momentos en cada uno de los elementos estructurales, para ello, se numeran los elementos del pórtico como lo muestra la siguiente imagen:

Imagen 92. Numeración de nudos y elementos del pórtico 1.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Numeración de nudos y elementos del pórtico 1.

##### 4.1. COMPARACIÓN DE DATOS

Teniendo en cuenta el orden de los elementos como, se realizan las siguientes tablas para disponer de los valores correspondientes a los respectivos análisis, en estas tablas se comprende: Momentos, fuerza cortante y fuerza axial, respectivamente:

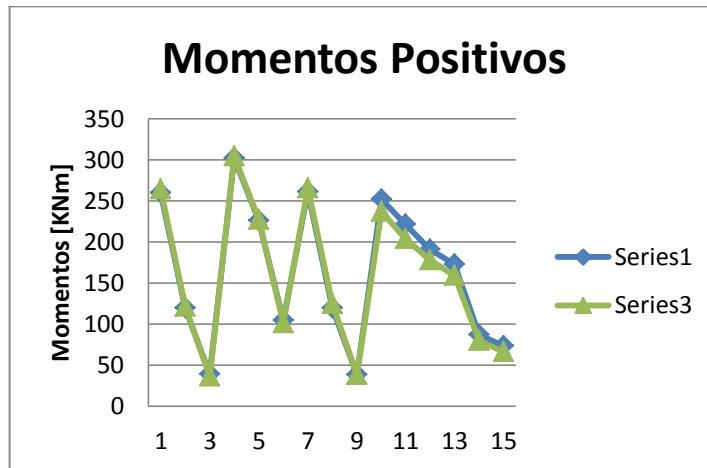
Tabla 47. Momentos resultantes del Pórtico 1.

FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
MOMENTOS en [KN-m]						
ELE.	MOMENTOS (ANALISIS PSEUDO-TRID.)		MOMENTOS (ANALISIS TRIDIMENSIONAL)		DIFERENCIA (%)	
	Positivo (Series1)	Negativo (Series1)	Positivo (Series3)	Negativo (Series3)	Positivo	Negativo
1	259.782	-132.951	264.25	-94.37	2%	-41%
2	119.259	-151.925	121.08	-127.54	2%	-19%
3	38.824	-86.825	36.49	-73.87	-6%	-18%
4	302.007	-216.589	304.74	-164.85	1%	-31%
5	226.141	-241.285	227.39	-196.6	1%	-23%
6	104.481	-146.594	101.55	-119.85	-3%	-22%
7	261.155	-133.736	265.74	-96.96	2%	-38%
8	119.347	-152.445	124.71	-129.57	4%	-18%
9	38.529	-86.738	38.56	-75.83	0%	-14%
10	252.21	-221.149	236.8	-205.05	-7%	-8%
11	221.581	-253.083	204.11	-234.69	-9%	-8%
12	190.749	-172.83	177.57	-159.14	-7%	-9%
13	172.936	-190.973	158.86	-176.84	-9%	-8%
14	86.825	-73.322	79.99	-66.64	-9%	-10%
15	73.273	-86.738	66.16	-78.8	-11%	-10%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Momentos resultantes del Pórtico 1.

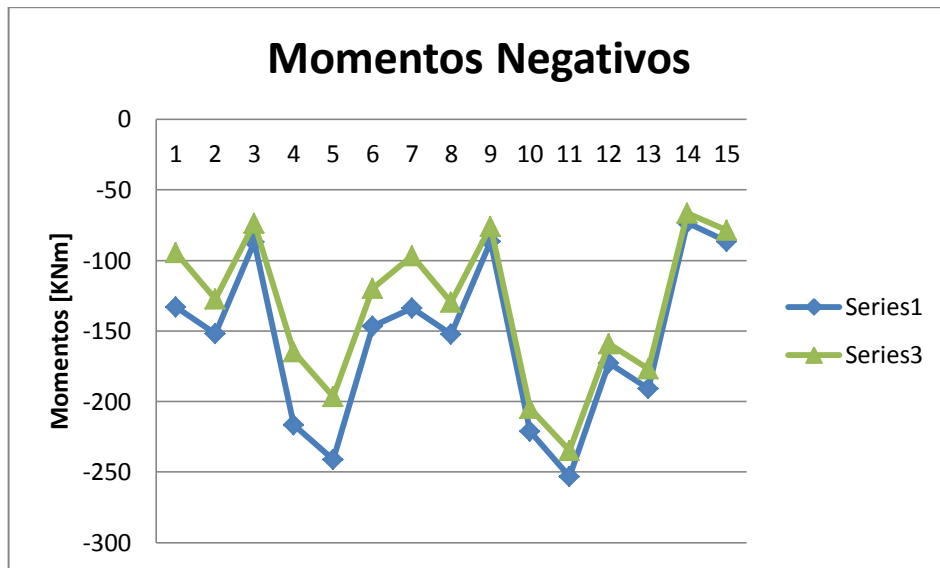
En el siguiente gráfico podemos analizar los datos obtenidos:

Imagen 93. Gráfica comparativa de los momentos positivos del Pórtico 1.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Gráfica comparativa de los momentos positivos del Pórtico 1.

Imagen 94. Gráfica comparativa de los momentos negativos del Pórtico 1.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Gráfica comparativa de los momentos negativos del Pórtico 1.

Siendo los datos de la línea verde (Series3) los resultados del análisis tridimensional y la línea azul (Series1) los resultados del análisis pseudo-tridimensional.

A continuación se presenta una tabla y su respectivo gráfico para el análisis de la fuerza cortante:

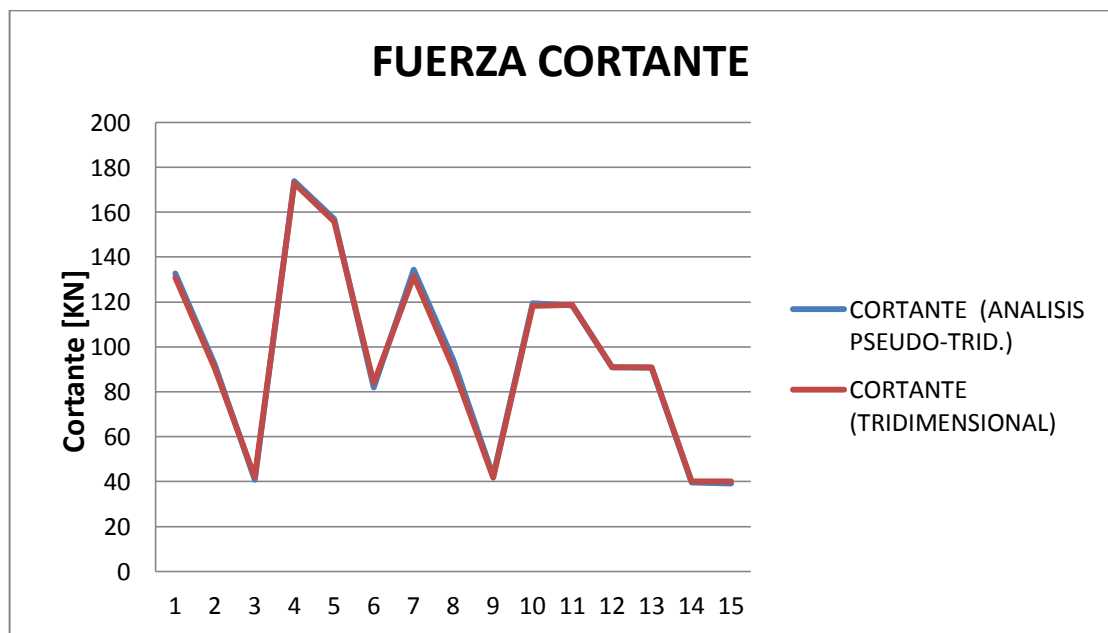
Tabla 48. Fuerza cortante resultante del Pórtico 1.

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>CORTANTE (ANÁLISIS PSEUDO-TRID.)</b>	<b>CORTANTE (TRIDIMENSIONAL)</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	132.82	130.9	-1%
2	92.08	90.4	-2%
3	40.86	41.9	2%

4	173.92	172.9	-1%
5	157.04	155.8	-1%
6	82	83.7	2%
7	134.34	131.6	-2%
8	94.18	90.6	-4%
9	42.35	41.8	-1%
10	119.42	118.3	-1%
11	118.59	118.7	0%
12	91.01	90.9	0%
13	90.73	91	0%
14	39.63	40	1%
15	39.18	40	2%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Fuerza cortante resultante del Pórtico 1.

Imagen 95. Gráfica comparativa de la fuerza cortante del Pórtico 1.



Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Gráfica comparativa de la fuerza cortante del Pórtico 1.

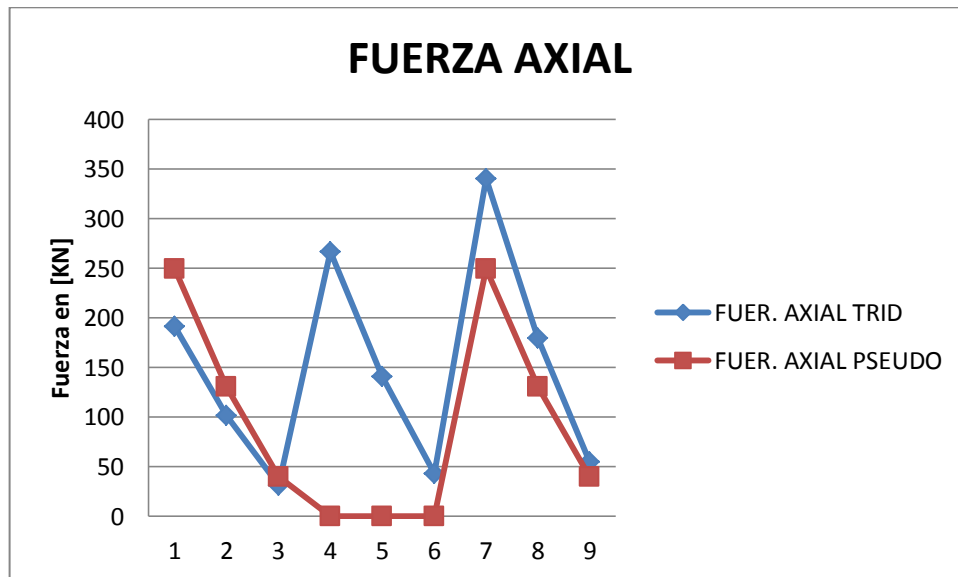
A continuación se presenta una tabla y su respectivo gráfico para el análisis de la fuerza axial.

Tabla 49. Fuerza axial resultante del Pórtico 1.

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>FUER. AXIAL TRID</b>	<b>FUER. AXIAL PSEUDO</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	191.65	249.271	23%
2	101.86	130.931	22%
3	31.26	40.037	22%
4	266.73	0.375	-71028%
5	141.09	0.049	-287839%
6	43.26	0.034	-127135%
7	340.34	249.646	-36%
8	179.35	130.98	-37%
9	54.75	40.003	-37%

Fuente: CASTILLO NAÑEZ, Víctor Renán. Fuerza axial resultante del Pórtico 1.

Imagen 96. Gráfica comparativa de la fuerza axial del Pórtico 1.

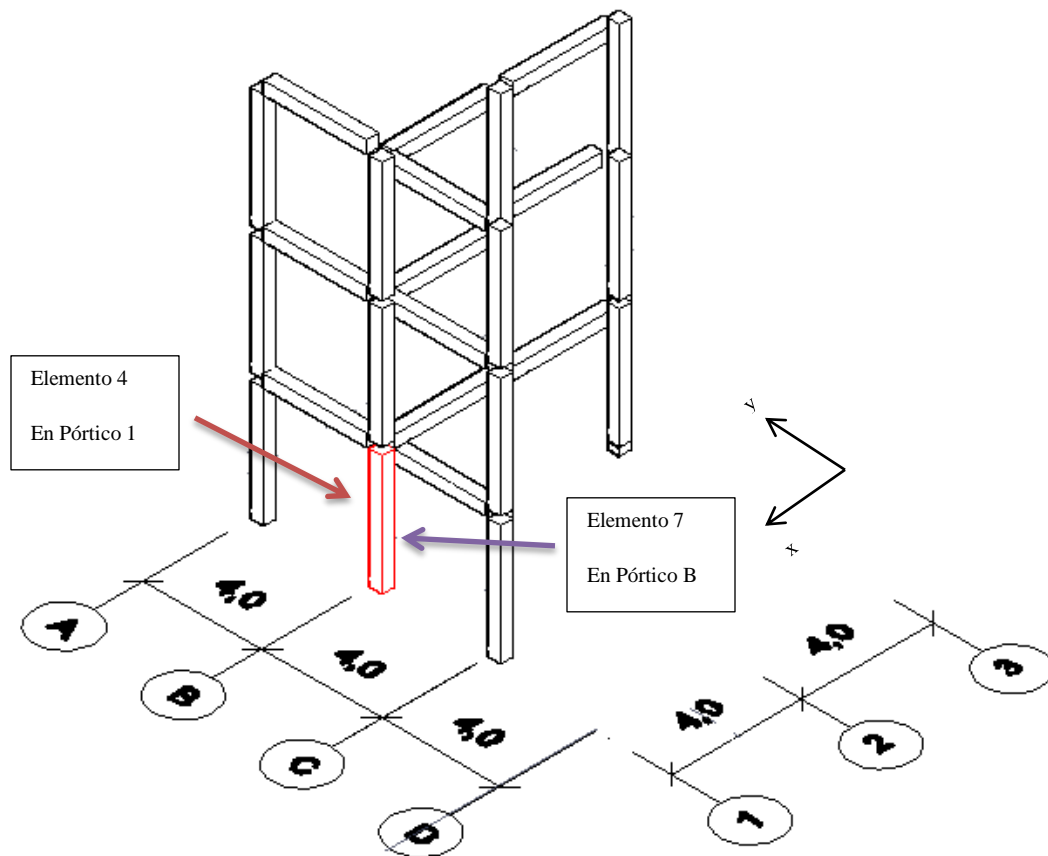


Fuente: CASTILLO NAÑEZ, Víctor Renán. Gráfica comparativa de la fuerza axial del Pórtico 1.

## 4.2. ANÁLISIS DE DATOS

Teniendo en cuenta los datos obtenidos se puede ver que ambos análisis arrojan datos muy parecidos para momentos y cortantes, sin embargo, los datos arrojados para la fuerza axial de los elementos estructurales se alejan para ambos análisis, esto se debe a que en el análisis tridimensional se toma en cuenta la mayor fuerza que llega al elemento de todas las direcciones, en contraposición del análisis plano o por pórticos, que deja a cargo del calculista evaluar al mismo elemento por otra dirección; en otras palabras, en la evaluación el elemento 4 del pórtico 1 es el mismo elemento 3 del pórtico B; para ilustrar mejor este punto, a continuación se presenta la Imagen 97.

Imagen 97. Ilustración del elemento en común entre los pórticos 1 y B



Fuente: CASTILLO NÁÑEZ, Víctor Renán. Ilustración del elemento en común entre los pórticos 1 y B.

Del mismo modo si comparamos los resultados de este elemento en los dos pórticos, obtenemos lo siguiente:

Tabla 50. Valores del elemento en común entre los pórticos 1 y B

Pórtico	Elemento	Análisis Tridimensional	Análisis pseudo	Diferencia (%)
B	7	-266.73	-259.049	-3%
1	4	266.73	0.375	-71028%

Fuente: CASTILLO ÑAÑEZ, Víctor Renán. Valores del elemento en común entre los pórticos 1 y B.

De esta manera podemos comprobar el porqué de la diferencia tan grande entre los valores, teniendo su explicación en la manera como arroja los valores el programa Etabs, el cual asume el mayor valor en cualquier dirección y este lo toma como único para el elemento.

En los pórticos 2 y 3 los datos varían entre el 5% y 36% para momentos y entre el 5% y 220% para cortante, siendo estos porcentajes tan elevados debido al signo de los datos arrojados por el programa.

En los pórticos A, B, C, D y 1 la variación promedio los resultados de la fuerza cortante es del 2%, lo cual sugiere que los datos coinciden en un 98%; en cuanto a los Pórticos 2 y 3 la variación promedio fue de 68% y 72% respectivamente, esta variación tan grande se debe a la diferencia en los signos que presentaron estos pórticos, sin embargo, si se hace la comparación de los datos en valor absoluto la variación promedio sería 11% y 21% respectivamente, esto es más o menos, una reducción de la sexta y la tercera parte.

En cuanto a los momentos arrojados en ambos análisis, se tienen momentos positivos y momentos negativos, los momentos positivos corresponden a los momentos en la parte inferior del miembro y los negativos a la parte superior del mismo, en los elementos verticales; en los elementos horizontales, los momentos positivos corresponden a los valores de la izquierda y los negativos a los de la derecha, a continuación se presentan las variaciones promedio:



Pórtico 1: Positivos 3%, Negativos 18%.

Pórtico 2: Positivos 11%, Negativos 6%.

Pórtico 3: Positivos 30%, Negativos 46%.

Pórtico A: Positivos 6%, Negativos 22%.

Pórtico B: Positivos 0%, Negativos 16%.

Pórtico C: Positivos 9%, Negativos 24%.

Pórtico D: Positivos 13%, Negativos 41%.

Entre los dos análisis no se puede definir cuál arroja datos de mayor o menor magnitud, en algunos pórticos el análisis tridimensional tiene una tendencia mayor, por ejemplo en los resultados de la fuerza axial del Pórtico 3, donde se puede apreciar una diferencia bastante significativa, el análisis tridimensional arroja valores mayores que el análisis pseudo-tridimensional, debido a la forma en que toma el análisis tridimensional las cargas a los elementos, sabiendo que es una envolvente, toma el mayor valor en todas las direcciones, lo que no ocurre con el análisis pseudo-tridimensional, que toma las fuerzas por separado en cada pórtico.

Los centros de masa y rigidez arrojados por el Programa Etabs son los siguientes:

<b>CENTROS DE MASA Y RIGIDEZ (PROGRAMA ETABS)</b>				
<b>Story</b>	<b>XCM</b>	<b>YCM</b>	<b>XCR</b>	<b>YCR</b>
STORY3	3.603	5.252	3.567	5.305
STORY2	3.603	5.245	3.58	5.338
STORY1	3.603	5.245	3.609	5.402

El centro de masa del análisis manual es ( $X=3.6$ ,  $Y= 5.2$ ) para todos los entrepisos y, los centros de rigidez son los siguientes:

<b>CENTROS DE MASA Y RIGIDEZ (ANÁLISIS MANUAL)</b>				
<b>Piso</b>	<b>XCM</b>	<b>YCM</b>	<b>XCR</b>	<b>YCR</b>
Piso 3	3.6	5.2	3.546	5.231
Piso 2	3.6	5.2	3.554	5.251
Piso 1	3.6	5.2	3.583	5.319

La variación es la siguiente:

<b>VARIACIÓN PORCENTUAL</b>				
<b>Piso</b>	<b>XCM</b>	<b>YCM</b>	<b>XCR</b>	<b>YCR</b>
Piso 3	-0.08%	-1.00%	-0.59%	-1.41%
Piso 2	-0.08%	-0.87%	-0.73%	-1.66%
Piso 1	-0.08%	-0.87%	-0.73%	-1.56%

Como se puede observar, la variación entre los resultados de ambos tipos de análisis es mínima, en promedio es -0.81%, lo que valida aún más el parentesco en los resultados arrojados.

Del mismo modo, en el Anexo 2, se analiza también la variación porcentual de los centros de masa y centros de rigidez, entre el análisis manual y el programa *ESPACIAL*.

## 5. CONCLUSIONES

Acerca de los datos arrojados por ambos análisis, en general, resultan parecidos, sin embargo, se debe tener mucho cuidado al momento de escoger el tipo de análisis que se va a utilizar. Estas diferencias radican en la manera como se concibe el método de la fuerza horizontal equivalente, si bien, el análisis pseudo-tridimensional, lo desarrolla manualmente, el análisis tridimensional, en el programa Etabs, no maneja de manera normal este tipo de método, los métodos que más utiliza son los métodos dinámicos.

Las rigideces de piso se asemejan en promedio 2.5%, en el análisis manual comparado con las rigideces arrojadas por el programa *CENTRAL*, de igual forma, estas rigideces producto del análisis manual varían en promedio -1.34% con las rigideces que arrojan el programa *ESPACIAL* (Ver Anexo 2). Esto evidencia la gran semejanza de los resultados y la validez del método manual para el análisis de estructuras.

Al analizar la estructura por ambos métodos se puede establecer gran semejanza entre ellos, de tal manera que podemos concluir que el método pseudo-tridimensional enseñado en pregrado de la Universidad del Cauca tiene gran validez, al compararlo con los métodos tridimensionales de programas avanzados a nivel mundial; esto genera más confianza en el estudiante que recibe una cátedra de como esta, al saber de mejor manera cómo se asimilan las cargas en las estructuras, cómo se distribuyen los cortantes por piso, cómo se calculan los centros de masa y de rigidez y determinar los cortantes de diseño para cada elemento estructural.

El análisis tridimensional es utilizado en Colombia, con mayor frecuencia, desde hace 10 años, lo que refleja que la mayoría de las estructuras que hoy en día están construidas se diseñaron con base en métodos pseudotridimensionales que, producto de esta investigación, quedan validados para su uso y su enseñanza en cualquier nivel de aprendizaje en el campo de la Ingeniería Civil.

Al realizar el análisis por ambos métodos el ingeniero puede tener la certeza de que los resultados obtenidos son valederos y por lo tanto no deja incertidumbre alguna sobre las decisiones que pueda tomar sobre el posterior diseño.

Los programas *CENTRAL* y *ESPACIAL* de la Universidad del Cauca, autoría del docente ingeniero Juan Manuel Mosquera, sirven para analizar y diseñar edificaciones, con total certidumbre de que los datos arrojados dan todas las herramientas para que el ingeniero calculista pueda realizar sus diseños. Esta es una razón importante por la cual se puede seguir enseñando el manejo de estos programas en el pregrado del programa ingeniería civil de la Universidad del Cauca.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- GOMEZ MOLINERO, Vicente. Aplicación de las técnicas de diseño asistido por ordenador a la concepción de estructuras para satélites espaciales. Revista Internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería. Vol 2,4. Pág. 367-378. 1986.
- DA FONSECA LOPES, Zeferino. El método de los elementos finitos: una introducción. Fondo editorial biblioteca Universidad Rafael Urdaneta. 2011
- RETAMOSO LLAMAS, Claudia Patricia. Aplicaciones de herramientas computacionales en el proceso de enseñanza, en el análisis de estructuras, en ingeniería civil. Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Santander. 2013.
- DONAYRE SALAS, Juan Carlos. Diseño de un edificio de apartamentos. Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima, Perú. 2007.
- RESTREPO, Dorian Leidin y JARAMILLO, Juan Diego. Identificación de propiedades dinámicas de estructuras considerando efectos de interacción suelo-estructura (caso de estudio). Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2007.
- SOTO MIRANDA, José. Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 2005.
- ROCHEL AWAD, Roberto. Análisis y diseño sísmico de edificios. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Antioquia. 2013.
- MALDONADO RONDON, Esperanza & CHIO CHO, Gustavo. Análisis sísmico de edificaciones. Editorial Universidad Industrial de Santander. 2004.
- ARRIOLA, María Nelly. Adecuación y evaluación del sistema TQS para las normas de diseño de Perú. Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería Civil. Lima, Perú. 2008. Disponible en: [cybertesis.urp.edu.pe/urp/2008/sanchez\\_mn/pdf/](http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2008/sanchez_mn/pdf/)

- DE IZCUE UCEDA, Arturo Martín & TABOADA GARCÍA, José Antonio. Análisis y diseño de edificios asistido por computadoras. Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima, Perú. 2009.
- MENESES ARCOS, Pablo David. Análisis de edificios de hormigón armado en base a pórticos planos acoplados a muros de altura parcial. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles. Valdivia, Chile. 2006.
- VASCO LÓPEZ, Patricio Marcelo. “Guía para Análisis y Diseño Estructural de Edificios de Hormigón Armado”. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de ingeniería civil. Centro de investigaciones científicas. Ambato, Tungurahua, Ecuador. 2003.
- HERNANDEZ, Eliud. Análisis y Diseño Estructural Utilizando el Programa ETABS v9. CSI Latinoamérica (Morrison Ingenieros). 2008. Disponible en: [www.academia.edu/5719230/Análisis y Diseño Estructural Utilizando el Programa Etabs v9 Código CSI-ETABS-FEB-08-R0 Extended Three Dimensinal Analysis of Building Systems Análisis Tridimensional Extendido de Edificaciones](http://www.academia.edu/5719230/Análisis_y_Diseño_Estructural_Utilizando_el_Programa_Etabs_v9_Código_CSI-ETABS-FEB-08-R0_Extended_Three_Dimensinal_Analysis_of_Building_Systems_Análisis_Tridimensional_Extendido_de_Edificaciones)
- PERALTA ALVAREZ, Máximo. Análisis estático no lineal y análisis dinámico no lineal del hospital de Vielha. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 2012.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10 titulo a](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_a)
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-

10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10 titulo b](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_b)

- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10. Disponible en línea en [www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10 titulo c](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/nsr10_titulo_c)

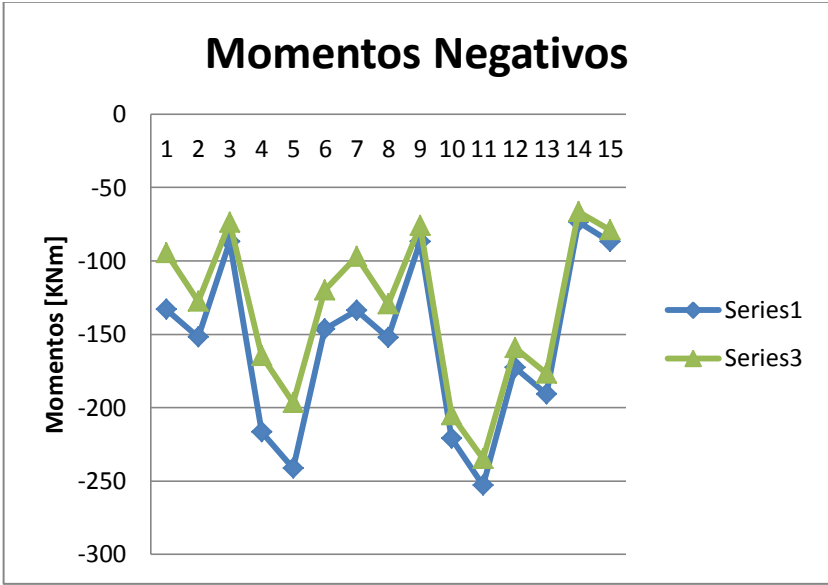
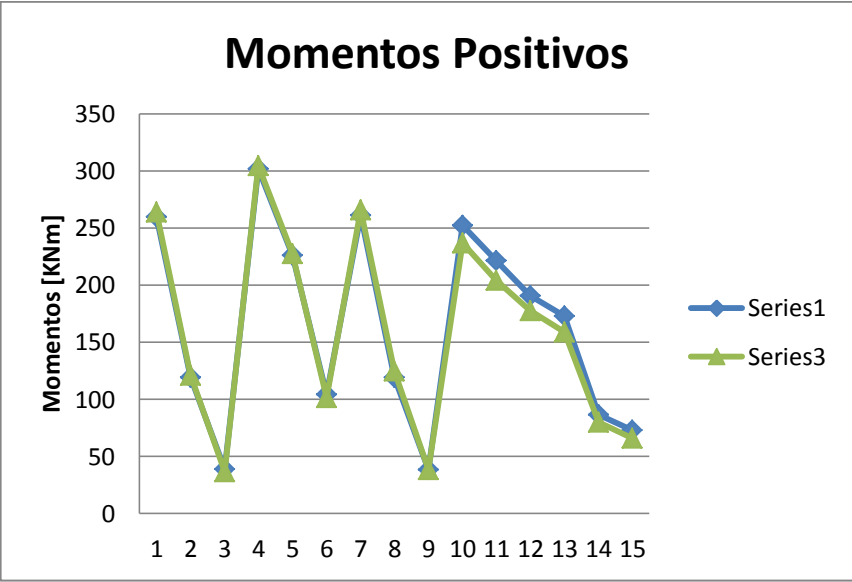
# **ANEXO 1. ANÁLISIS DE PÓRTICOS.**



**PORTICO 1**

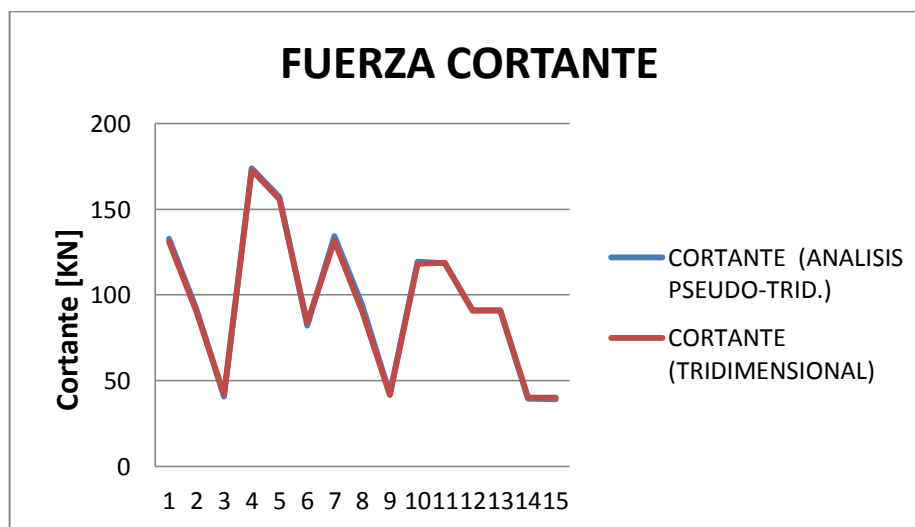
- **MOMENTOS**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>						
<b>MOMENTOS en [KN-m]</b>						
<b>ELE.</b>	<b>MOMENTOS (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>		<b>MOMENTOS (ANALISIS TRIDIMENSIONAL)</b>		<b>DIFERENCIA (%)</b>	
	<b>Positivo (Series1)</b>	<b>Negativo (Series1)</b>	<b>Positivo (Series3)</b>	<b>Negativo (Series3)</b>	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
1	259.782	-132.951	264.25	-94.37	2%	-41%
2	119.259	-151.925	121.08	-127.54	2%	-19%
3	38.824	-86.825	36.49	-73.87	-6%	-18%
4	302.007	-216.589	304.74	-164.85	1%	-31%
5	226.141	-241.285	227.39	-196.6	1%	-23%
6	104.481	-146.594	101.55	-119.85	-3%	-22%
7	261.155	-133.736	265.74	-96.96	2%	-38%
8	119.347	-152.445	124.71	-129.57	4%	-18%
9	38.529	-86.738	38.56	-75.83	0%	-14%
10	252.21	-221.149	236.8	-205.05	-7%	-8%
11	221.581	-253.083	204.11	-234.69	-9%	-8%
12	190.749	-172.83	177.57	-159.14	-7%	-9%
13	172.936	-190.973	158.86	-176.84	-9%	-8%
14	86.825	-73.322	79.99	-66.64	-9%	-10%
15	73.273	-86.738	66.16	-78.8	-11%	-10%



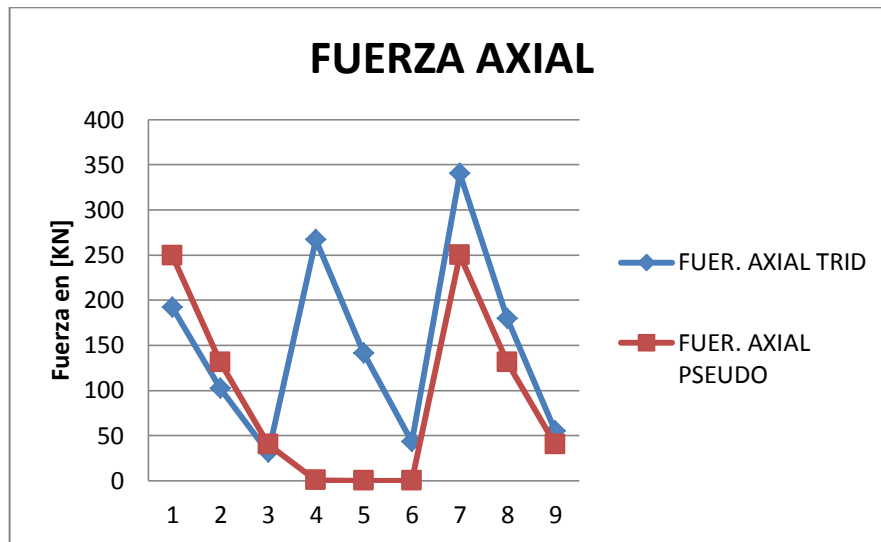
- **CORTANTE**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>CORTANTE (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>	<b>CORTANTE (TRIDIMENSIONAL)</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	132.82	130.9	-1%
2	92.08	90.4	-2%
3	40.86	41.9	2%
4	173.92	172.9	-1%
5	157.04	155.8	-1%
6	82	83.7	2%
7	134.34	131.6	-2%
8	94.18	90.6	-4%
9	42.35	41.8	-1%
10	119.42	118.3	-1%
11	118.59	118.7	0%
12	91.01	90.9	0%
13	90.73	91	0%
14	39.63	40	1%
15	39.18	40	2%



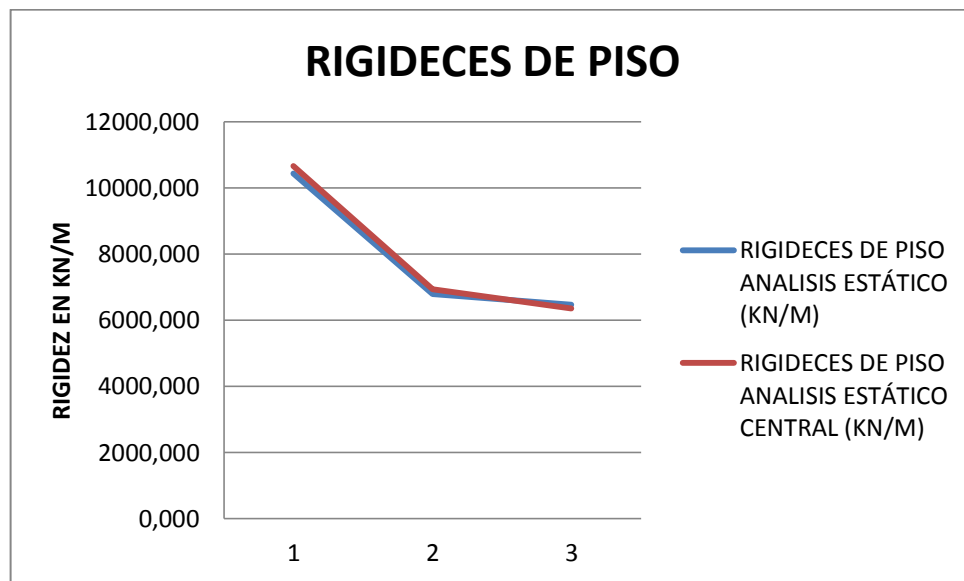
- **AXIAL**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>FUER. AXIAL TRID</b>	<b>FUER. AXIAL PSEUDO</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	191.65	249.271	23%
2	101.86	130.931	22%
3	31.26	40.037	22%
4	266.73	0.375	-71028%
5	141.09	0.049	-287839%
6	43.26	0.034	-127135%
7	340.34	249.646	-36%
8	179.35	130.98	-37%
9	54.75	40.003	-37%



- **RIGIDECES DE PISO**

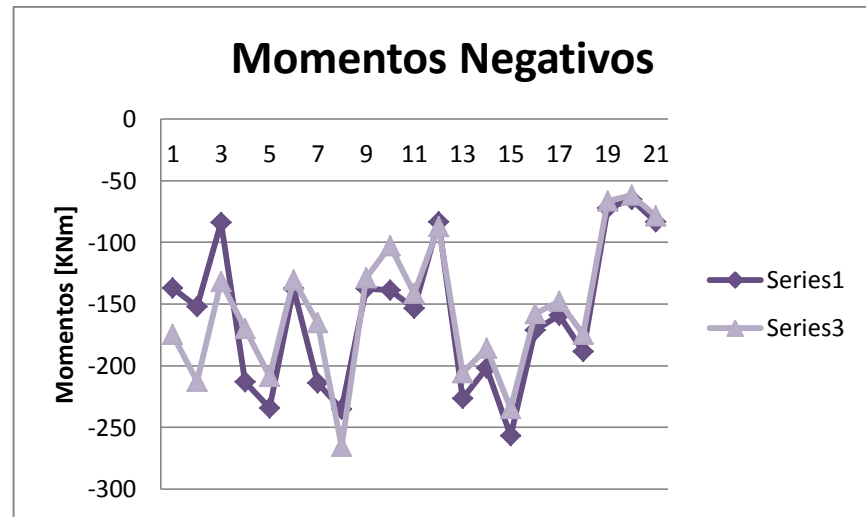
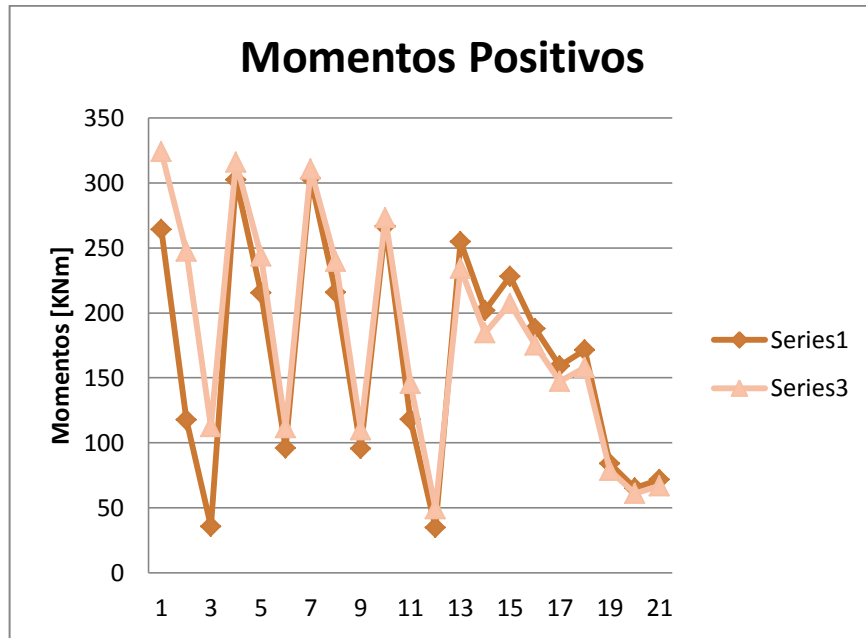
PISO(R)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO (KN/M)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO PROGRAMA CENTRAL (KN/M)	DIFERENCIA (%)
R1	10437.697	10662.5	2.11%
R2	6784.503	6935.2	2.17%
R3	6461.432	6353	-1.71%



**PORTICO 2**

- **MOMENTOS**

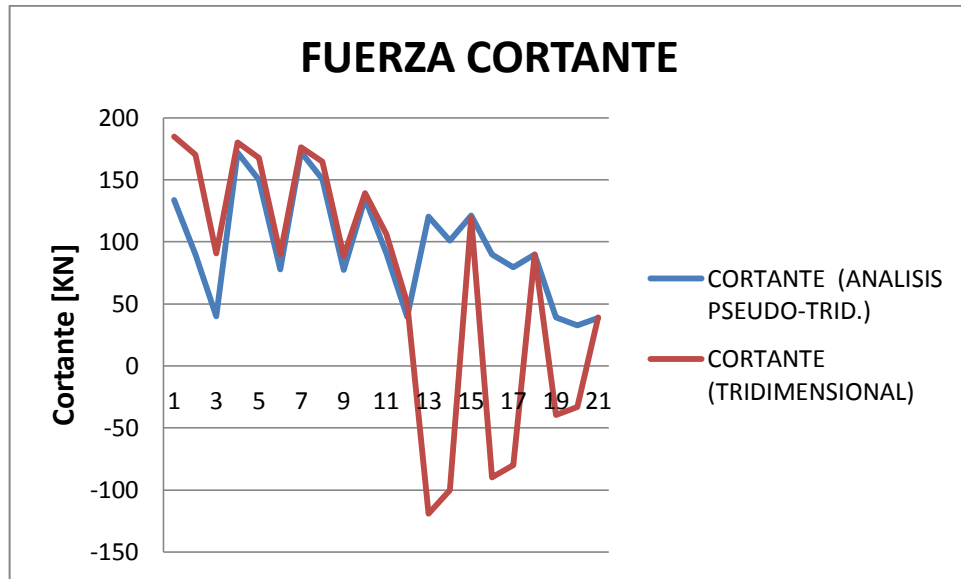
<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>						
<b>MOMENTOS en [KN-m]</b>						
<b>ELE.</b>	<b>MOMENTOS (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>		<b>MOMENTOS (ANALISIS TRIDIMENSIONAL)</b>		<b>DIFERENCIA (%)</b>	
	<b>Positivo (Series1)</b>	<b>Negativo (Series1)</b>	<b>Positivo (Series3)</b>	<b>Negativo (Series3)</b>	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
1	264.013	-137.123	323.95	-174.77	19%	22%
2	117.792	-152.142	247.49	-212.54	52%	28%
3	35.732	-83.936	112.54	-131.92	68%	36%
4	302.461	-213.144	316.02	-170.04	4%	-25%
5	215.344	-234.398	243.67	-208.82	12%	-12%
6	95.819	-137.482	111.7	-130.55	14%	-5%
7	303.544	-213.997	310.49	-165.19	2%	-30%
8	215.924	-235.119	239.56	-265.53	10%	11%
9	95.555	-137.314	110.02	-128.8	13%	-7%
10	266.717	-138.587	273.17	-102.78	2%	-35%
11	118.347	-153.573	145.8	-141.46	19%	-9%
12	34.895	-83.644	49.2	-87.33	29%	4%
13	254.915	-226.736	234.46	-205.75	-9%	-10%
14	201.752	-201.925	184.64	-185.82	-9%	-9%
15	227.996	-256.934	207.22	-234.59	-10%	-10%
16	187.873	-171.165	175.06	-157.79	-7%	-8%
17	159.053	-159.121	147.33	-147.85	-8%	-8%
18	171.554	-188.468	157.86	-174.64	-9%	-8%
19	83.937	-72.135	78.85	-66.58	-6%	-8%
20	65.347	-65.342	61.07	-61.82	-7%	-6%
21	71.973	-83.644	66.98	-78.53	-7%	-7%



- **CORTANTE**

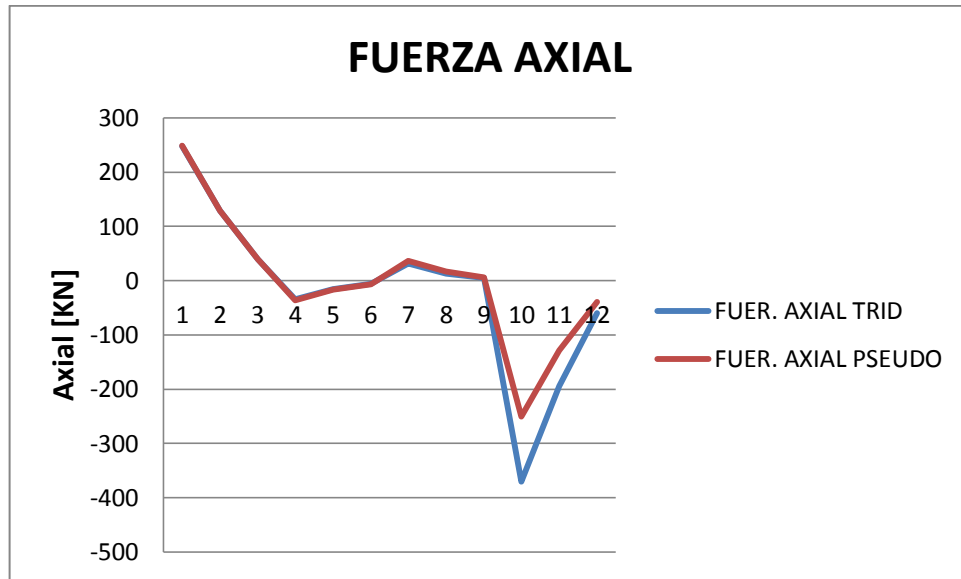
<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>CORTANTE (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>	<b>CORTANTE (TRIDIMENSIONAL)</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	133.7	184.71	28%
2	90	170.38	47%
3	39.9	90.54	56%
4	171.9	180.02	5%
5	149.9	167.59	11%
6	77.8	89.72	13%
7	172.5	176.18	2%
8	150.3	164.85	9%
9	77.6	88.45	12%
10	135.1	139.24	3%
11	90.6	106.39	15%
12	39.5	50.59	22%
13	120.4	-118.97	201%
14	100.9	-100.13	201%
15	121.2	119.41	-1%
16	89.8	-89.96	200%
17	79.5	-79.78	200%
18	90	89.87	0%
19	39	-39.31	199%
20	32.7	-33.21	198%
21	38.9	39.33	1%





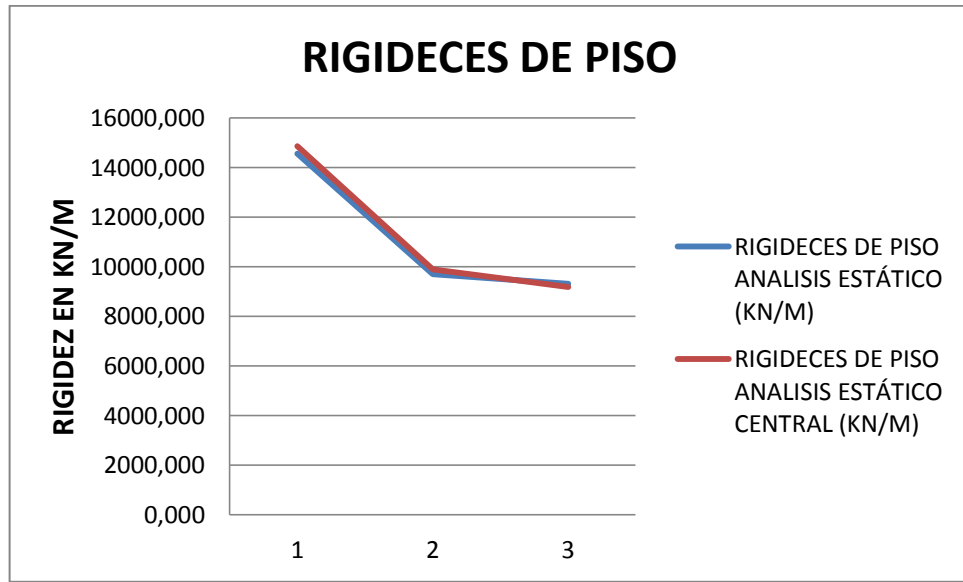
- **AXIAL**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>FUER. AXIAL TRID</b>	<b>FUER. AXIAL PSEUDO</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	248.21	249.19	0%
2	129.25	128.777	0%
3	39.3	39.018	-1%
4	-34.65	-36.055	4%
5	-15.92	-16.562	4%
6	-5.9	-6.346	7%
7	31.82	37.007	14%
8	13.41	16.694	20%
9	4.78	6.232	23%
10	-370.36	-250.142	-48%
11	-194.31	-128.91	-51%
12	-60.2	-38.904	-55%



- **RIGIDECES DE PISO**

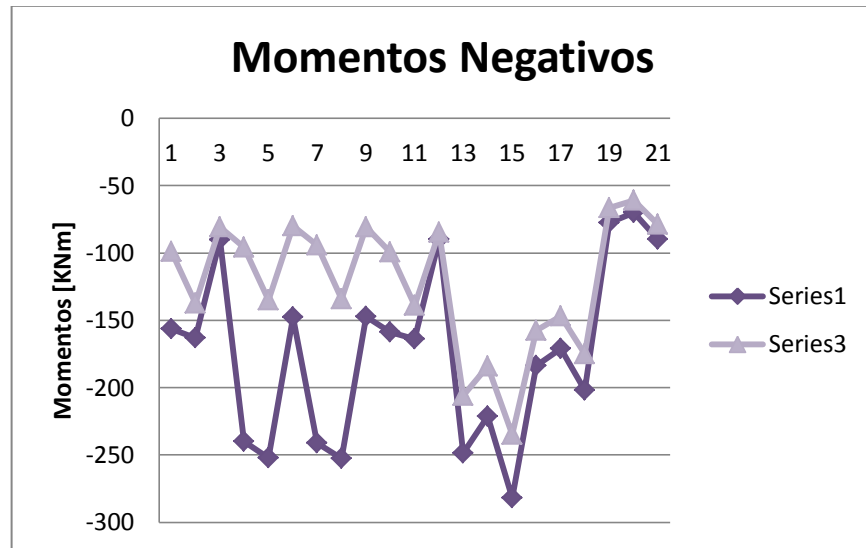
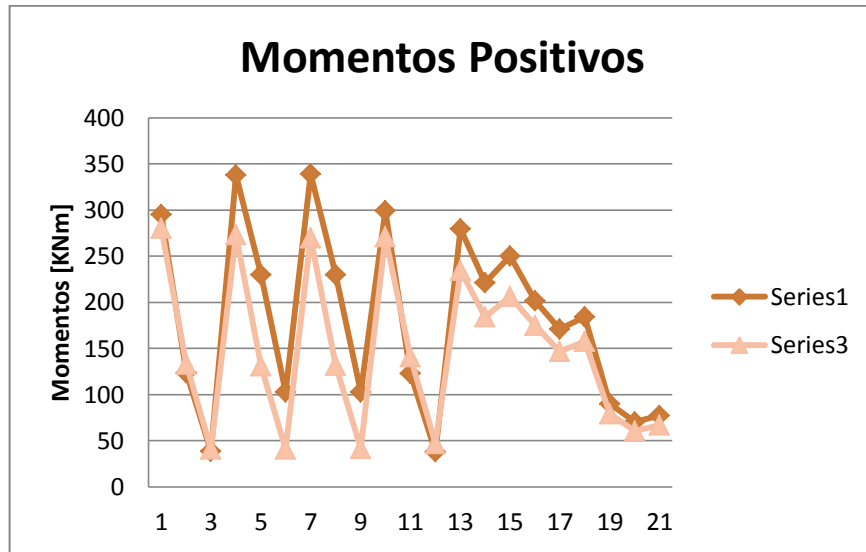
PISO(R)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO (KN/M)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO PROGRAMA CENTRAL (KN/M)	DIFERENCIA (%)
R1	14567.592	14848.1	1.89%
R2	9705.192	9891.3	1.88%
R3	9304.462	9182.6	-1.33%



### PORTICO 3

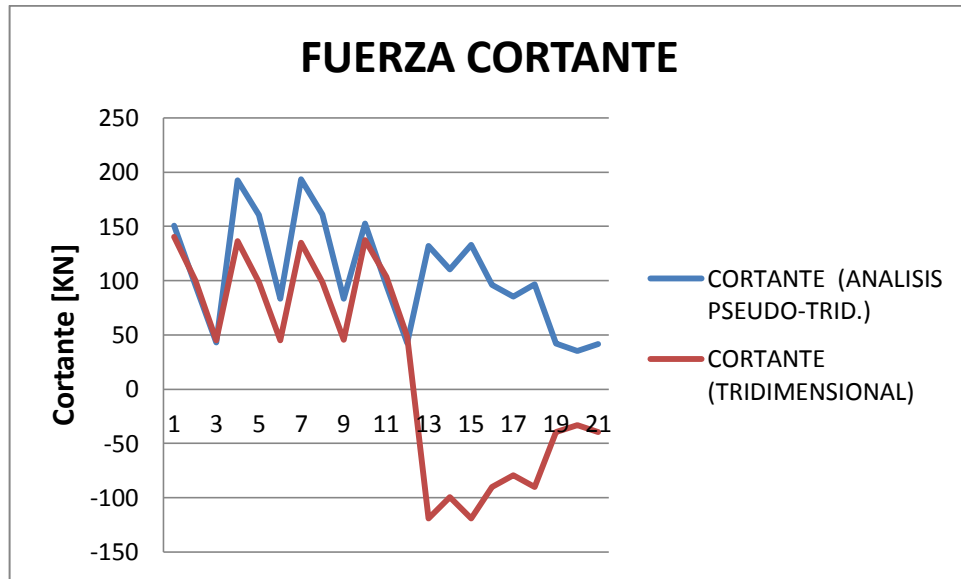
- MOMENTOS

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>						
<b>MOMENTOS en [KN-m]</b>						
<b>ELE.</b>	<b>MOMENTOS (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>		<b>MOMENTOS (ANALISIS TRIDIMENSIONAL)</b>		<b>DIFERENCIA (%)</b>	
	<b>Positivo (Series1)</b>	<b>Negativo (Series1)</b>	<b>Positivo (Series3)</b>	<b>Negativo (Series3)</b>	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
1	295.447	-156.241	280.33	-98.82	-5%	-58%
2	123.371	-163.253	132.57	-137.48	7%	-19%
3	38.459	-90.145	40.98	-80.97	6%	-11%
4	337.865	-239.978	273.31	-95.67	-24%	-151%
5	229.745	-252.092	130.9	-134.9	-76%	-87%
6	102.765	-147.602	40.94	-80.14	-151%	-84%
7	339.361	-241.228	269.76	-94.27	-26%	-156%
8	230.044	-252.569	131.57	-134.26	-75%	-88%
9	102.569	-147.482	41.74	-80.64	-146%	-83%
10	299.329	-158.772	271.19	-99.33	-10%	-60%
11	123.036	-164.075	141.13	-138.99	13%	-18%
12	37.962	-89.954	46.64	-84.59	19%	-6%
13	279.612	-248.623	234.55	-206.05	-19%	-21%
14	221.099	-221.283	184.19	-184.23	-20%	-20%
15	249.989	-281.808	206.17	-234.62	-21%	-20%
16	201.712	-183.874	174.95	-157.73	-15%	-17%
17	170.983	-171.034	146.97	-146.97	-16%	-16%
18	184.104	-202.037	157.82	-175.04	-17%	-15%
19	90.145	-77.444	78.81	-66.68	-14%	-16%
20	70.158	-70.151	60.8	-60.82	-15%	-15%
21	77.331	-89.954	66.82	-78.91	-16%	-14%



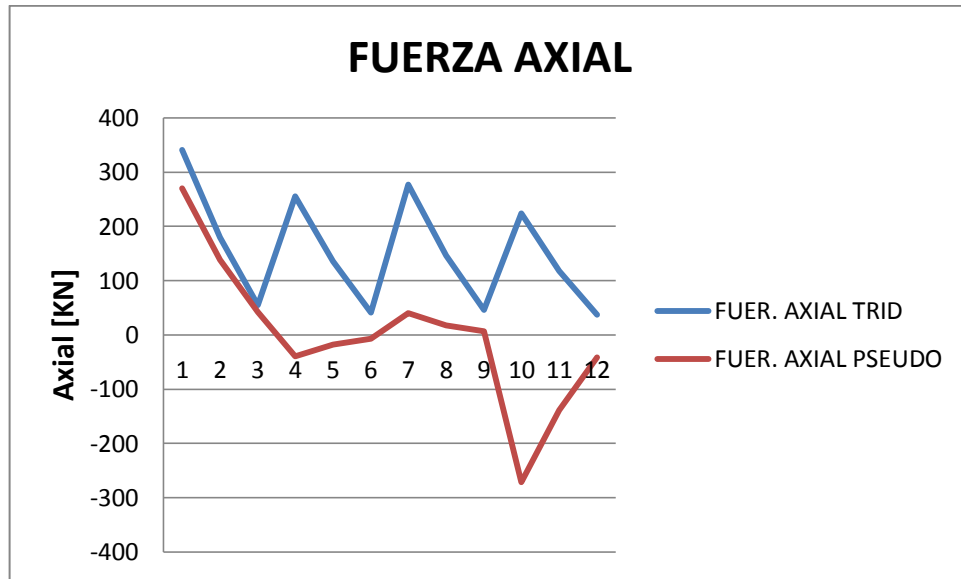
- **CORTANTE**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>CORTANTE (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>	<b>CORTANTE (TRIDIMENSIONAL)</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	150.6	140.43	-7%
2	95.5	100.02	5%
3	42.9	45.17	5%
4	192.6	136.66	-41%
5	160.6	98.44	-63%
6	83.5	44.84	-86%
7	193.5	134.83	-44%
8	160.9	98.46	-63%
9	83.4	45.33	-84%
10	152.7	137.23	-11%
11	95.7	103.75	8%
12	42.6	48.61	12%
13	132.1	-119.08	211%
14	110.6	-99.57	211%
15	132.9	-119.13	212%
16	96.4	-89.91	207%
17	85.5	-79.44	208%
18	96.5	-89.98	207%
19	41.9	-39.32	207%
20	35.1	-32.87	207%
21	41.8	-39.38	206%



- **AXIAL**

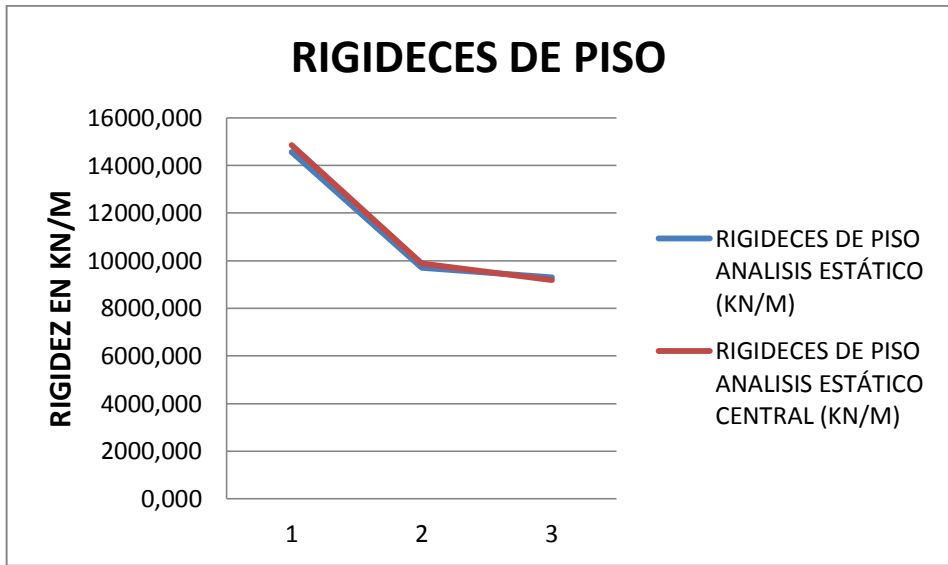
<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>FUER. AXIAL TRID</b>	<b>FUER. AXIAL PSEUDO</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	341.23	270.353	-26%
2	179.91	138.294	-30%
3	55	41.897	-31%
4	255.68	-39.175	753%
5	135.8	-17.712	867%
6	41.15	-6.82	703%
7	277.39	40.128	-591%
8	146.78	17.775	-726%
9	45.66	6.744	-577%
10	223.64	-271.306	182%
11	118.1	-138.357	185%
12	37.16	-41.821	189%



- **RIGIDECES DE PISO**

PISO(R)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO (KN/M)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO PROGRAMA CENTRAL (KN/M)	DIFERENCIA
R1	14567.592	14848.1	1.89%
R2	9705.192	9891.3	1.88%
R3	9304.462	9182.6	-1.33%

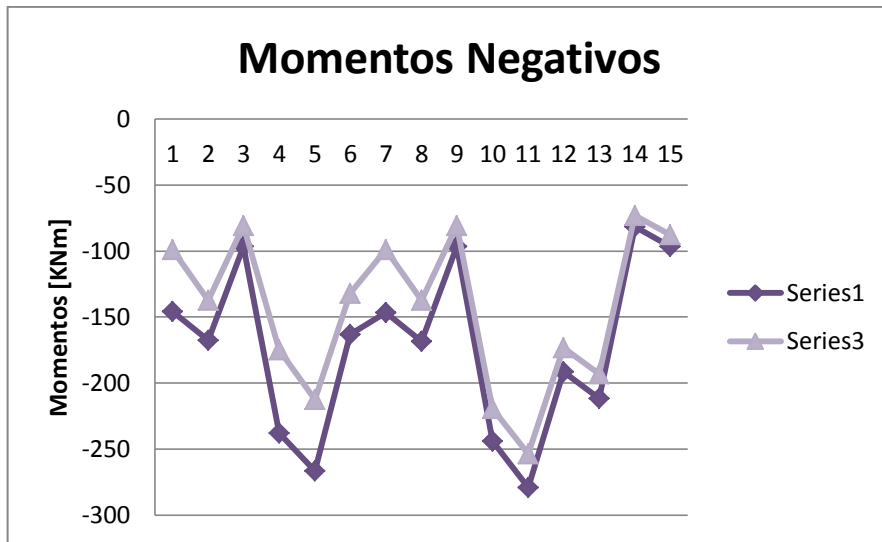
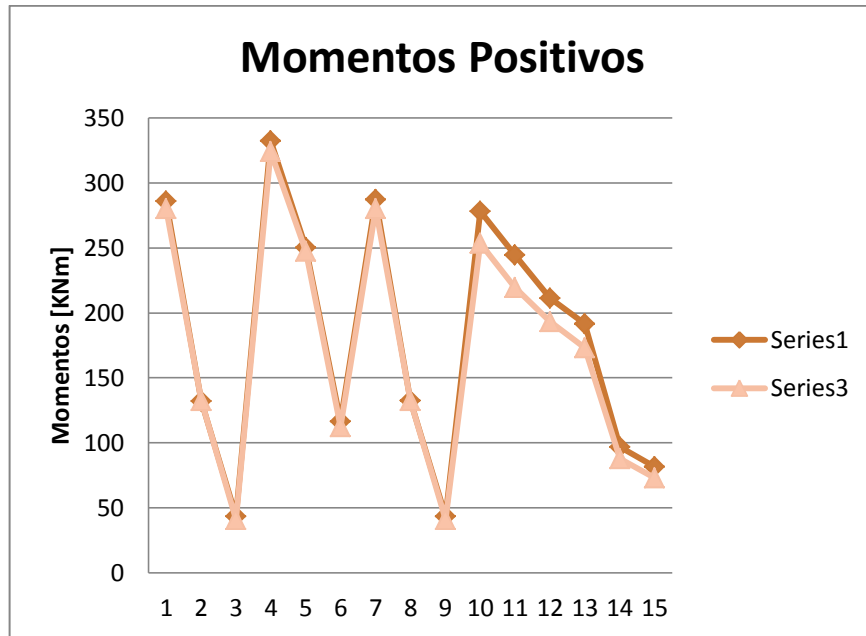




## PORTICO A

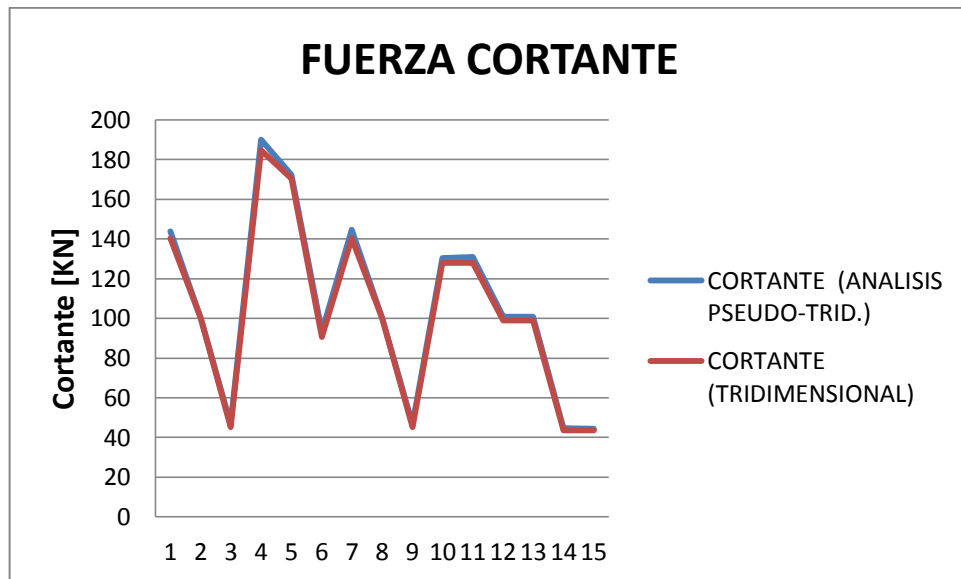
### - MOMENTOS

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>						
<b>MOMENTOS en [KN-m]</b>						
<b>ELE.</b>	<b>MOMENTOS (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>		<b>MOMENTOS (ANALISIS TRIDIMENSIONAL)</b>		<b>DIFERENCIA (%)</b>	
	<b>Positivo (Series1)</b>	<b>Negativo (Series1)</b>	<b>Positivo (Series3)</b>	<b>Negativo (Series3)</b>	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
1	285.783	-145.915	280.33	-98.82	-2%	-48%
2	132.231	-167.741	132.57	-137.48	0%	-22%
3	43.642	-96.625	40.98	-80.97	-6%	-19%
4	332.307	-238.085	323.95	-174.77	-3%	-36%
5	250.209	-266.573	247.49	-212.54	-1%	-25%
6	116.572	-163.116	112.54	-131.92	-4%	-24%
7	287.254	-146.744	280.33	-98.82	-2%	-48%
8	132.355	-168.318	132.57	-137.48	0%	-22%
9	43.334	-96.548	40.98	-80.97	-6%	-19%
10	278.146	-243.911	253.65	-219.44	-10%	-11%
11	244.382	-279.098	219.43	-253.64	-11%	-10%
12	211.383	-191.508	193.26	-173.12	-9%	-11%
13	191.637	-211.653	173.11	-193.26	-11%	-10%
14	96.625	-81.58	87.88	-72.99	-10%	-12%
15	81.536	-96.548	72.98	-87.88	-12%	-10%



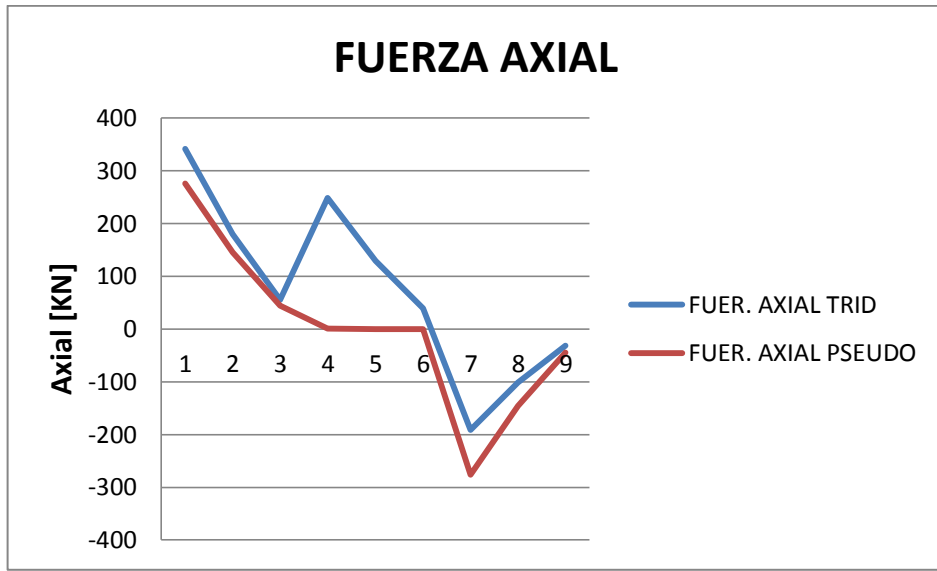
- **CORTANTE**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>CORTANTE (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>	<b>CORTANTE (TRIDIMENSIONAL)</b>	<b>DIFERENCIA</b>
1	143.9	140.43	-2%
2	100	100.02	0%
3	46.8	45.17	-4%
4	190.1	184.71	-3%
5	172.3	170.38	-1%
6	93.2	90.54	-3%
7	144.7	140.43	-3%
8	100.2	100.01	0%
9	46.6	45.17	-3%
10	130.5	127.86	-2%
11	130.9	127.86	-2%
12	100.7	99.02	-2%
13	100.8	99.02	-2%
14	44.6	43.48	-3%
15	44.5	43.48	-2%



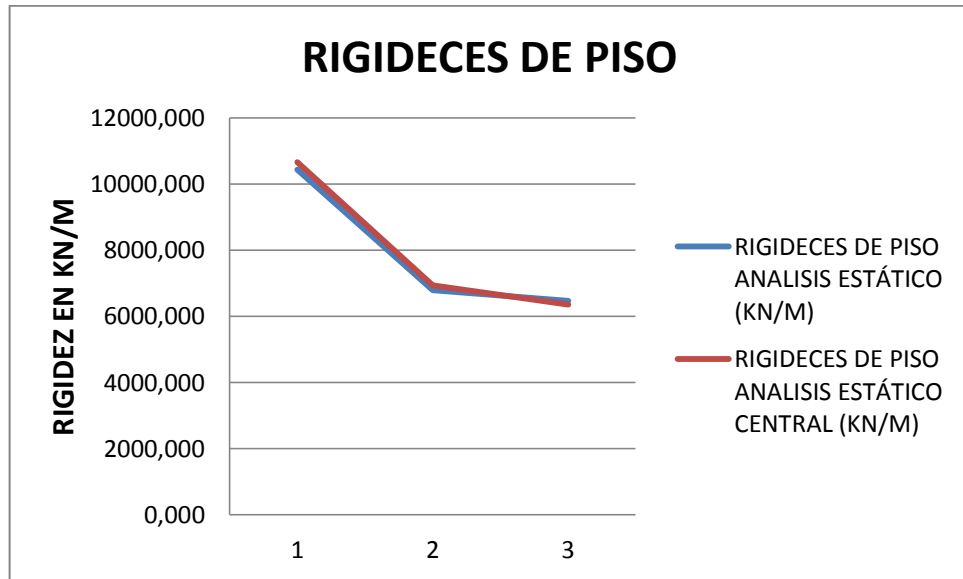
- **AXIAL**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>FUER. AXIAL TRID</b>	<b>FUER. AXIAL PSEUDO</b>	<b>DIFERENCIA</b>
1	341.23	275.788	-24%
2	179.91	145.274	-24%
3	55	44.551	-23%
4	248.21	0.425	-58302%
5	129.25	0.069	-187219%
6	39.3	-0.03	131100%
7	-191.65	-276.213	31%
8	-101.86	-145.343	30%
9	-31.26	-44.521	30%



- **RIGIDECES DE PISO**

PISO(R)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO (KN/M)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO PROGRAMA CENTRAL (KN/M)	DIFERENCIA (%)
R1	10437.697	10662.5	2.11%
R2	6784.503	6935.2	2.17%
R3	6461.432	6353	-1.71%

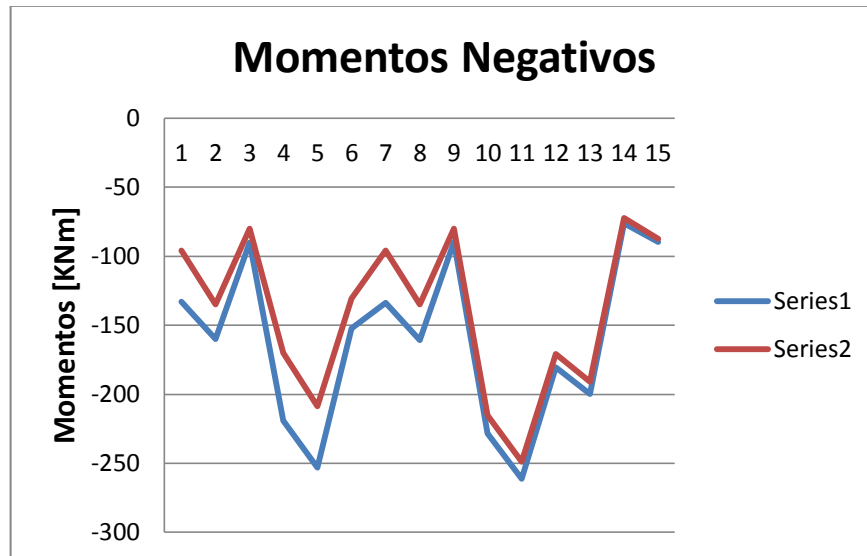
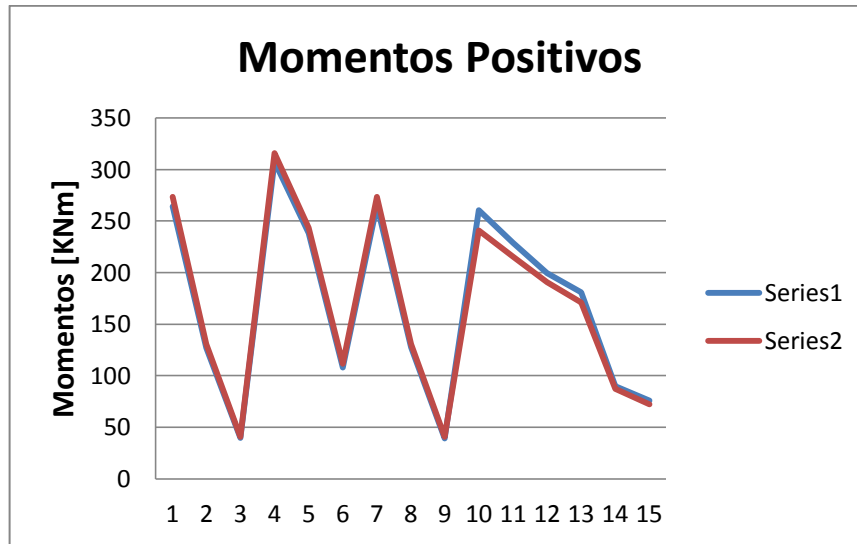


## PÓRTICO B

### - MOMENTOS

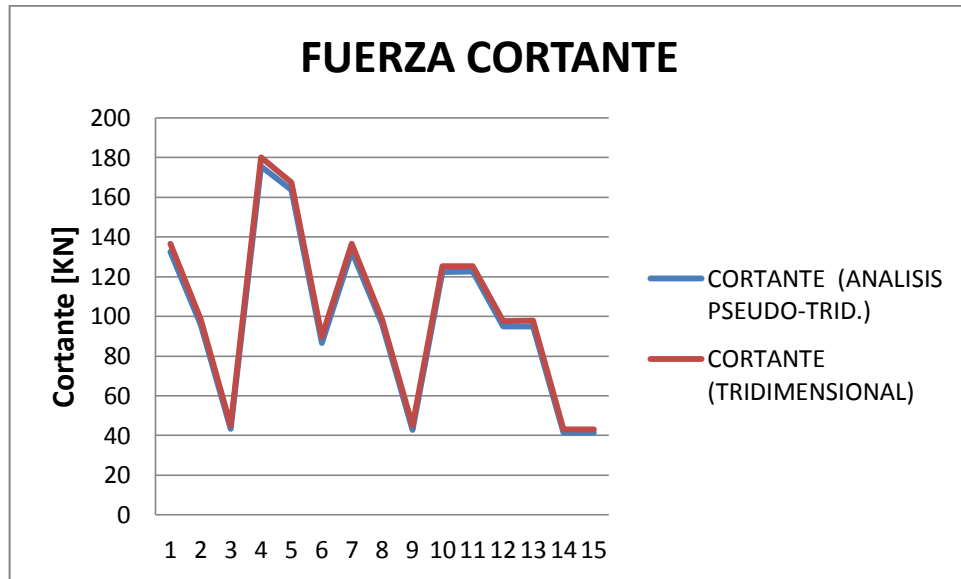
<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>						
<b>MOMENTOS en [KN-m]</b>						
<b>ELE.</b>	<b>MOMENTOS (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>		<b>MOMENTOS (ANALISIS TRIDIMENSIONAL)</b>		<b>DIFERENCIA (%)</b>	
	<b>Positivo (Series1)</b>	<b>Negativo (Series1)</b>	<b>Positivo (Series3)</b>	<b>Negativo (Series3)</b>	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
1	264.015	-133.093	273.31	-95.67	3%	-39%
2	127.3	-159.814	130.9	-134.9	3%	-18%
3	39.451	-90.022	40.94	-80.14	4%	-12%
4	307.421	-219.171	316.02	-170.04	3%	-29%
5	238.062	-253.003	243.67	-208.82	2%	-21%
6	108.038	-152.085	111.7	-130.55	3%	-16%
7	265.097	-133.552	273.31	-95.66	3%	-40%
8	127.764	-160.671	130.9	-134.91	2%	-19%
9	38.926	-89.841	40.96	-80.15	5%	-12%
10	260.392	-228.388	240.67	-215.17	-8%	-6%
11	228.845	-261.316	215.24	-248.74	-6%	-5%
12	199.265	-180.44	190.7	-170.78	-4%	-6%
13	180.601	-199.597	170.87	-190.78	-6%	-5%
14	90.022	-76.09	87.07	-72.32	-3%	-5%
15	75.995	-89.841	72.42	-87.17	-5%	-3%





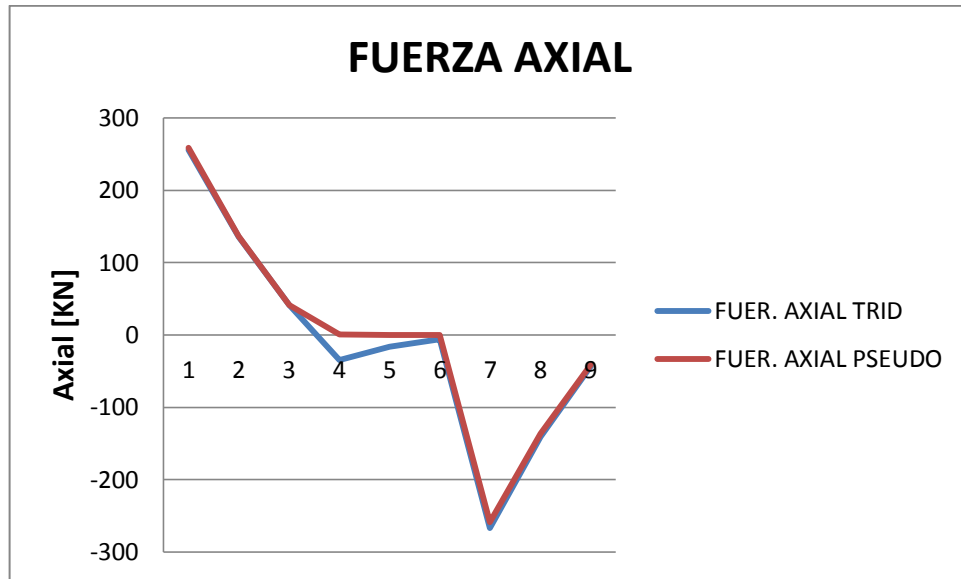
- **CORTANTE**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>CORTANTE (ANALISIS PSEUDO- TRID.)</b>	<b>CORTANTE (TRIDIMENSIONAL)</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	132.4	136.66	3%
2	95.7	98.44	3%
3	43.2	44.84	4%
4	175.5	180.02	3%
5	163.7	167.59	2%
6	86.7	89.72	3%
7	132.9	136.65	3%
8	96.1	98.45	2%
9	42.9	44.86	4%
10	122.2	125.36	3%
11	122.5	125.4	2%
12	94.9	97.7	3%
13	95	97.74	3%
14	41.5	43.08	4%
15	41.5	43.13	4%



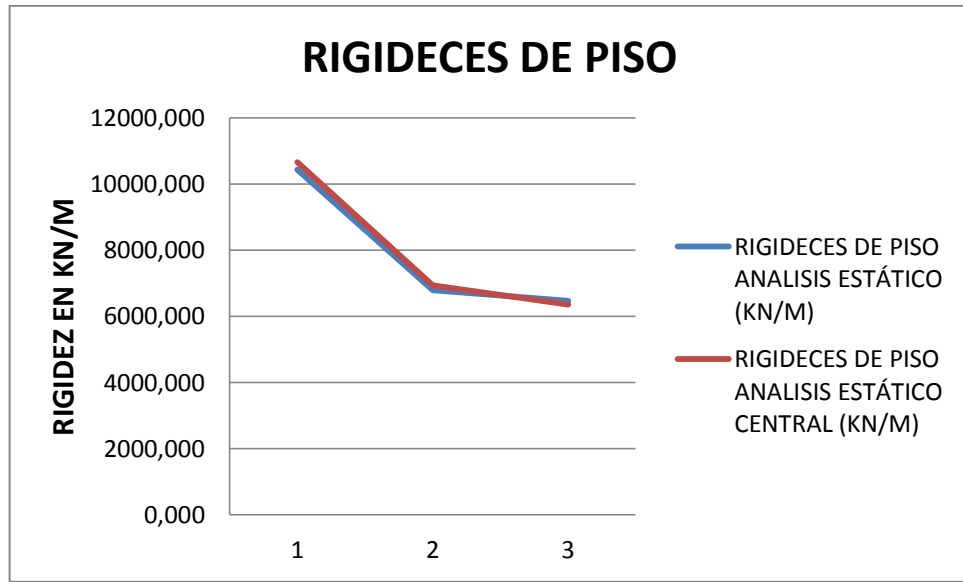
- **AXIAL**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>FUER. AXIAL TRID</b>	<b>FUER. AXIAL PSEUDO</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	255.68	258.65	1%
2	135.8	136.454	0%
3	41.15	41.528	1%
4	-34.65	0.399	8784%
5	-15.92	0.054	29581%
6	-5.9	-0.069	-8451%
7	-266.73	-259.049	-3%
8	-141.09	-136.508	-3%
9	-43.26	-41.459	-4%



- **RIGIDECES DE PISO**

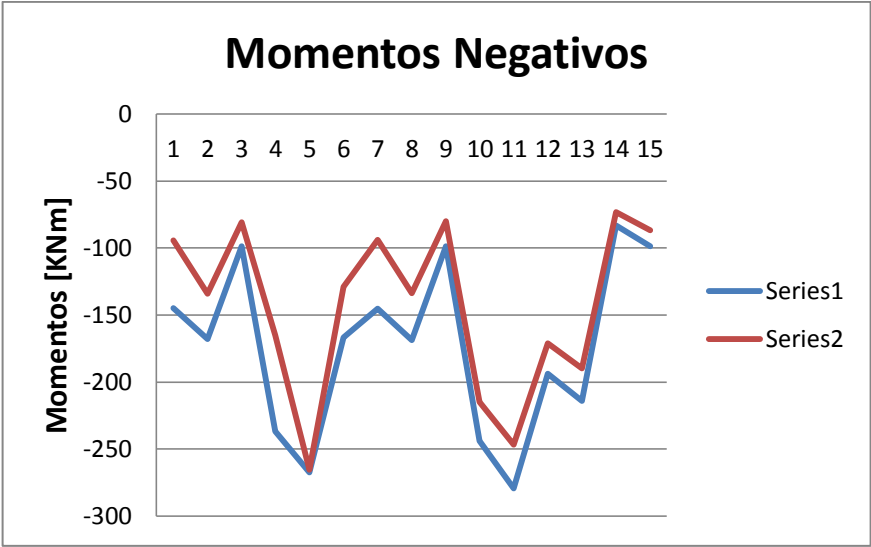
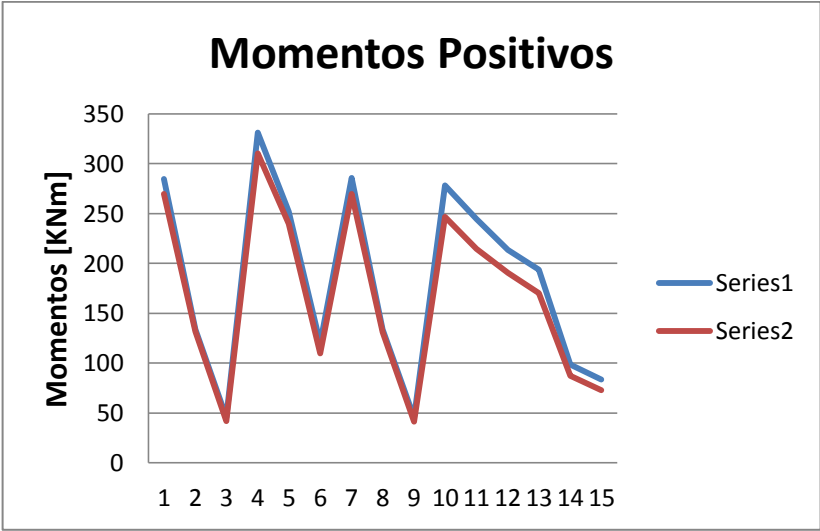
PISO(R)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO (KN/M)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO PROGRAMA CENTRAL (KN/M)	DIFERENCIA
R1	10437.697	10662.5	2.11%
R2	6784.503	6935.2	2.17%
R3	6461.432	6353	-1.71%



## PÓRTICO C

### - MOMENTOS

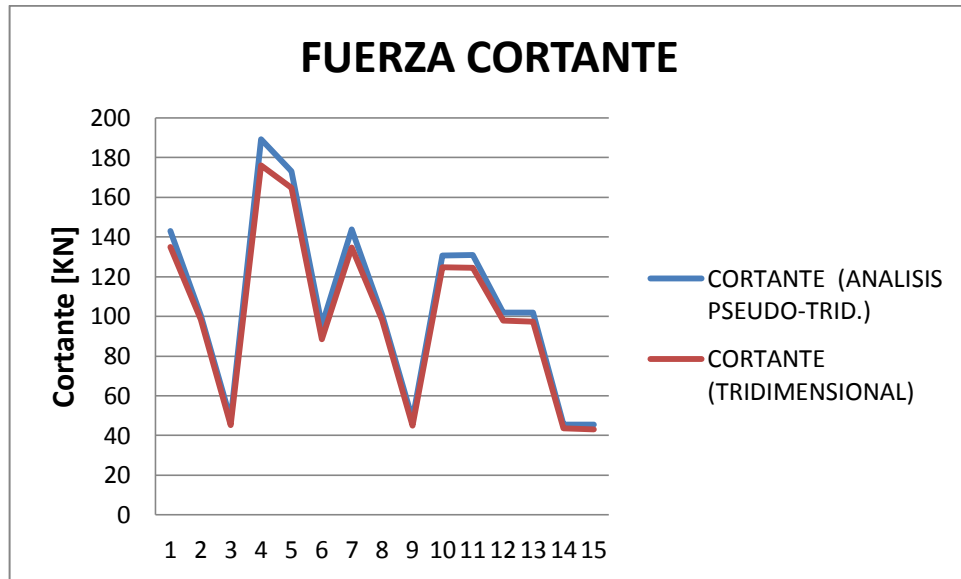
<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>						
<b>MOMENTOS en [KN-m]</b>						
<b>ELE.</b>	<b>MOMENTOS (ANÁLISIS PSEUDO-TRID.)</b>		<b>MOMENTOS (ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL)</b>		<b>DIFERENCIA (%)</b>	
	<b>Positivo (Series1)</b>	<b>Negativo (Series1)</b>	<b>Positivo (Series3)</b>	<b>Negativo (Series3)</b>	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
1	284.588	-144.669	269.76	-94.27	-5%	-53%
2	133.601	-167.989	131.57	-134.26	-2%	-25%
3	45.746	-98.762	41.74	-80.64	-10%	-22%
4	331.047	-236.736	310.49	-165.19	-7%	-43%
5	251.85	-267.465	239.56	-265.53	-5%	-1%
6	119.902	-166.653	110.02	-128.8	-9%	-29%
7	285.988	-145.444	269.49	-93.8	-6%	-55%
8	133.753	-168.547	130.91	-133.89	-2%	-26%
9	45.502	-98.742	41.23	-80.04	-10%	-23%
10	278.27	-244.064	246.7	-214.75	-13%	-14%
11	244.522	-279.197	214.37	-246.53	-14%	-13%
12	213.735	-193.608	190.53	-171.18	-12%	-13%
13	193.758	-214.049	170.42	-189.85	-14%	-13%
14	98.763	-83.335	87.39	-73.42	-13%	-14%
15	83.318	-98.742	72.73	-86.93	-15%	-14%



- **CORTANTE**

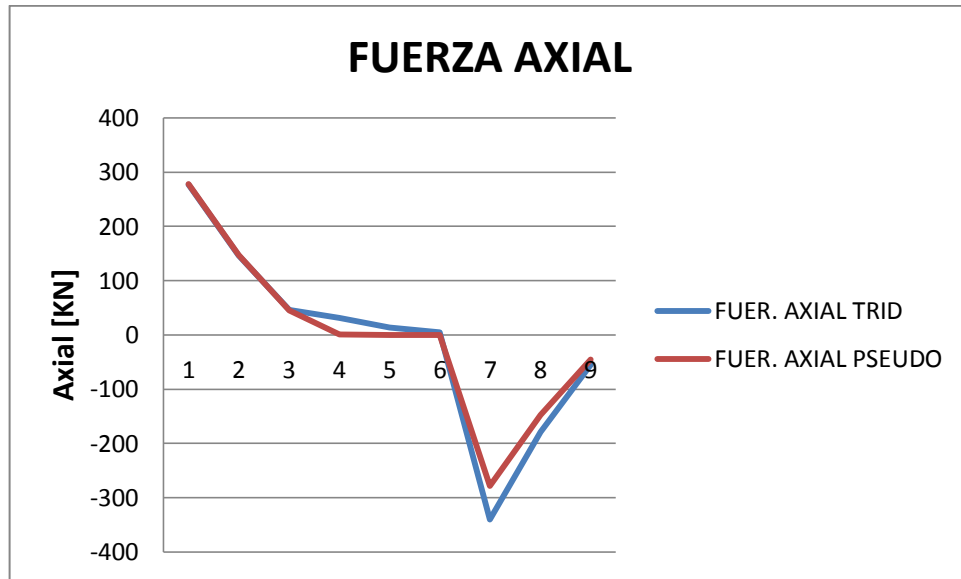
<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>CORTANTE (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>	<b>CORTANTE (TRIDIMENSIONAL)</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	143.1	134.83	-6%
2	100.5	98.46	-2%
3	48.2	45.33	-6%
4	189.3	176.18	-7%
5	173.1	164.85	-5%
6	95.5	88.45	-8%
7	143.8	134.55	-7%
8	100.8	98.08	-3%
9	48.1	44.92	-7%
10	130.6	124.72	-5%
11	130.9	124.57	-5%
12	101.8	97.76	-4%
13	102	97.37	-5%
14	45.5	43.46	-5%
15	45.5	43.15	-5%





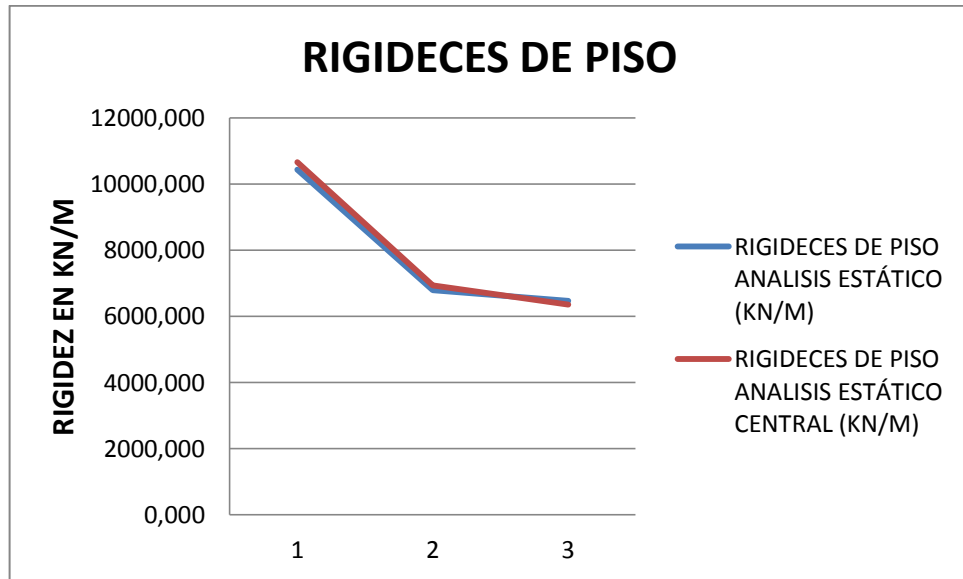
- **AXIAL**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>FUER. AXIAL TRID</b>	<b>FUER. AXIAL PSEUDO</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	277.39	277.944	0%
2	146.78	147.36	0%
3	45.66	45.524	0%
4	31.82	0.453	-6924%
5	13.41	0.107	-12433%
6	4.78	-0.009	53211%
7	-340.34	-278.397	-22%
8	-179.35	-147.467	-22%
9	-54.75	-45.515	-20%



- **RIGIDECES DE PISO**

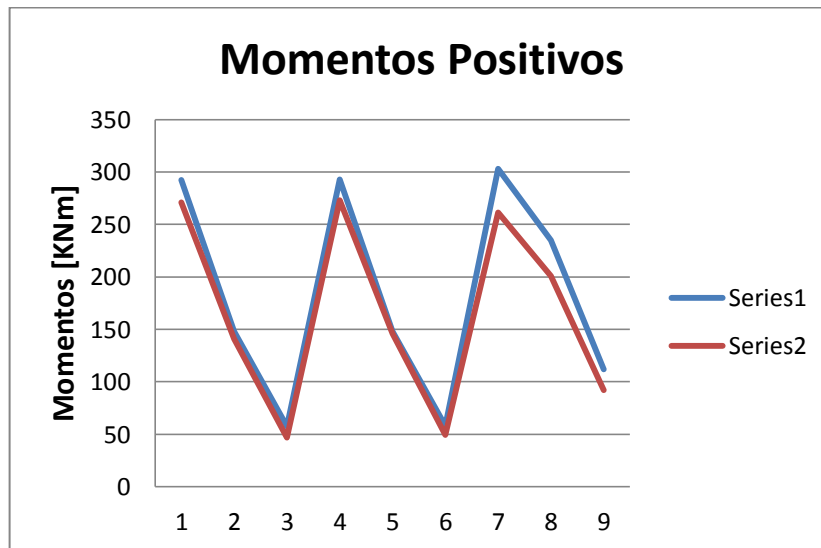
PISO(R)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO (KN/M)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO PROGRAMA CENTRAL (KN/M)	DIFERENCIA (%)
R1	10437.697	10662.5	2.11%
R2	6784.503	6935.2	2.17%
R3	6461.432	6353	-1.71%

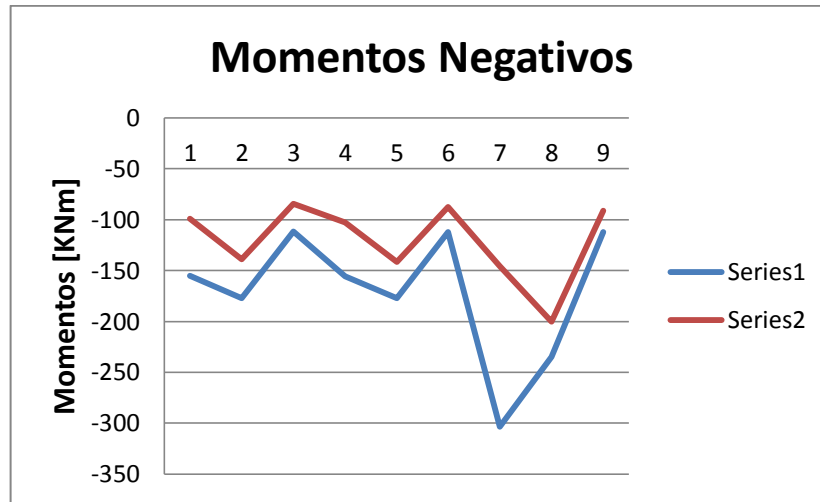


## PÓRTICO D

### - MOMENTOS

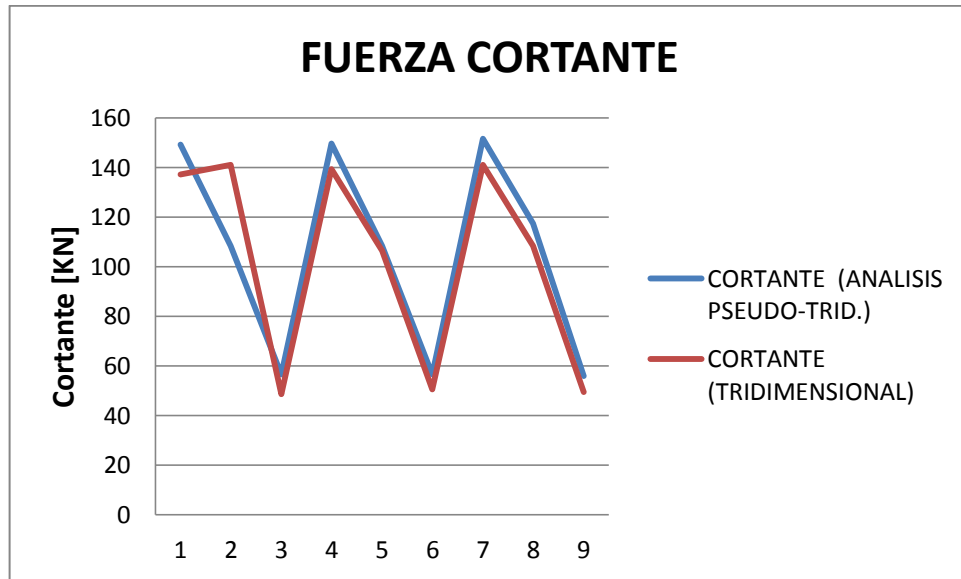
FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
MOMENTOS en [KN-m]						
ELE.	MOMENTOS (ANÁLISIS PSEUDO-TRID.)		MOMENTOS (ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL)		DIFERENCIA (%)	
	Positivo (Series1)	Negativo (Series1)	Positivo (Series3)	Negativo (Series3)	Positivo	Negativo
1	292.425	-155.245	271.19	-99.33	-8%	-56%
2	148.087	-177.15	141.13	-138.99	-5%	-27%
3	57.714	-111.934	46.64	-84.69	-24%	-32%
4	293.026	-155.63	273.17	-102.78	-7%	-51%
5	147.863	-177.126	145.8	-141.46	-1%	-25%
6	57.749	-111.956	49.26	-87.33	-17%	-28%
7	303.332	-303.493	261.59	-145.8	-16%	-108%
8	234.864	-234.876	200.7	-200.29	-17%	-17%
9	111.935	-111.956	92.05	-91.01	-22%	-23%





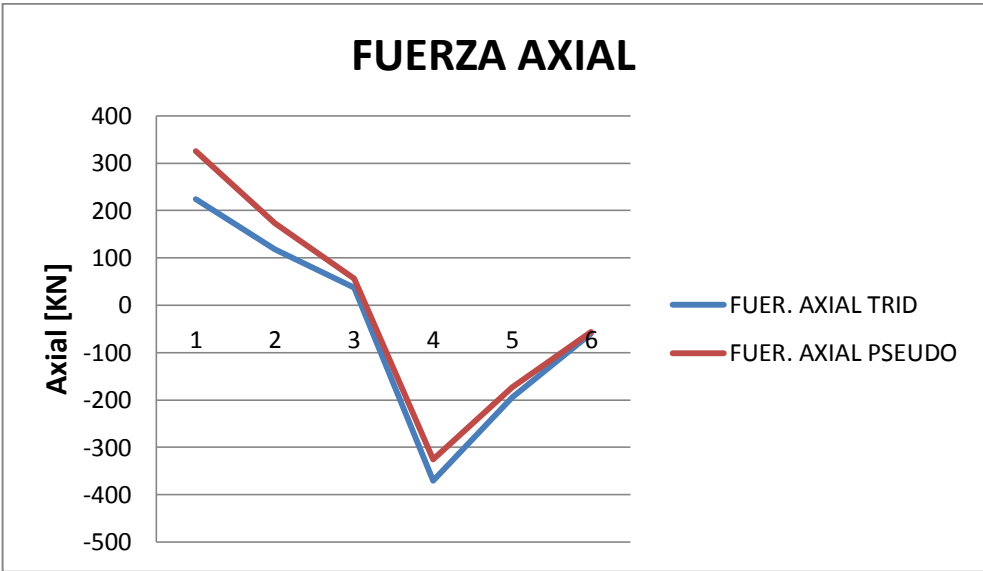
- **CORTANTE**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>CORTANTE (ANALISIS PSEUDO-TRID.)</b>	<b>CORTANTE (TRIDIMENSIONAL)</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	149.2	137.23	-9%
2	108.4	140.98	23%
3	56.5	48.61	-16%
4	149.6	139.24	-7%
5	108.3	106.39	-2%
6	56.6	50.59	-12%
7	151.7	140.98	-8%
8	117.4	108.4	-8%
9	56	49.48	-13%



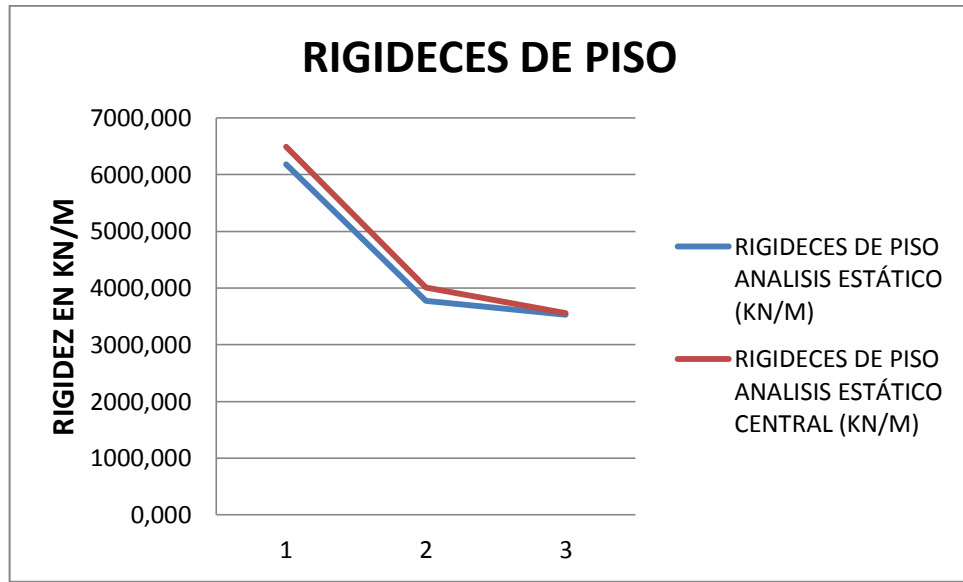
- **AXIAL**

<b>FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>			
<b>FUERZAS en [KN]</b>			
<b>ELE.</b>	<b>FUER. AXIAL TRID</b>	<b>FUER. AXIAL PSEUDO</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1	223.64	325.114	31%
2	118.1	173.408	32%
3	37.16	55.973	34%
4	-370.36	-325.114	-14%
5	-194.31	-173.408	-12%
6	-60.2	-55.973	-8%



- **RIGIDECES DE PISO**

PISO(R)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO (KN/M)	RIGIDECES DE PISO ANALISIS ESTÁTICO PROGRAMA CENTRAL (KN/M)	DIFERENCIA (%)
R1	6180.500	6486.8	4.72%
R2	3773.934	4012.7	5.95%
R3	3524.417	3560.1	1.00%





**ANEXO 2. RIGIDECES DE LOS PÓRTICOS EN EL  
PROGRAMA *ESPACIAL*.**

**(PROGRAMA AUTORÍA DEL INGENIERO JUAN MANUEL  
MOSQUERA, DOCENTE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL,  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA)**

### Pórticos en dirección X

```
C:\DOCUME-1\Aleja\ESCRIT-1\PROGRA-1\PROGRA-1.JUA\EJ-ESP-1\ESPACIAL.EXE
*****
RIGIDECES DE PISO DE LA ESTRUCTURA
PORTICOS PARALELOS A LA DIRECCION X DE LA ESTRUCTURA
RIGIDECES EN kN/m
*****
POR. EJE   COORD Y          RIGIDECES DE LOS PISOS DEL PORTICO
                PISO 1   PISO 2   PISO 3
          A      0.00      10662   6935   6353
          B      4.00      10662   6935   6353
          C      8.00      10662   6935   6353
          D     12.00       6487   4013   3560
CONTINUAMOS? _
```

### Pórticos en dirección Y

```
C:\DOCUME-1\Aleja\ESCRIT-1\PROGRA-1\PROGRA-1.JUA\EJ-ESP-1\ESPACIAL.EXE
*****
RIGIDECES DE PISO DE LA ESTRUCTURA
PORTICOS PARALELOS A LA DIRECCION Y DE LA ESTRUCTURA
RIGIDECES EN kN/m
*****
POR. EJE   COORD X          RIGIDECES DE LOS PISOS DEL PORTICO
                PISO 1   PISO 2   PISO 3
          3      0.00      14848   9891   9183
          2      4.00      14848   9891   9183
          1      8.00      10662   6935   6353
CONTINUAMOS? _
```

Entrepiso 1

```

C:\> C:\DOCUME~1\aleja\ESCRIT~1\PROGRA~1\PROGRA~1.JUA\EJ-ESP~1\ESPACIAL.EXE
*****
PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA
PORTICOS PARALELOS A LA DIRECCION X DE LA ESTRUCTURA
LOSA ESTRUCTURA PISO
*****
1
POR. EJE      COORD Y      RIGIDEZ X      COORD. Ycr
A             0.00         10662          -5.35
B             4.00         10662          -1.35
C             8.00         10662           2.65
D            12.00         6487           6.65
COORD Y DEL CENTRO DE RIGIDEZ:      5.35
COORD Y DEL CENTRO DE MASA:         5.20
EXCENTRICIDAD NATURAL:              -0.15
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL:           0.01
SUMA DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA EN X: 38474
<CONTINUAMOS>?
  
```

```

C:\> C:\DOCUME~1\aleja\ESCRIT~1\PROGRA~1\PROGRA~1.JUA\EJ-ESP~1\ESPACIAL.EXE
*****
PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA
PORTICOS PARALELOS A LA DIRECCION Y DE LA ESTRUCTURA
LOSA ESTRUCTURA PISO
*****
1
POR. EJE      COORD X      RIGIDEZ Y      COORD. Xcr
3             0.00         14848          -3.59
2             4.00         14848           0.41
1             8.00         10662           4.41
COORD X DEL CENTRO DE RIGIDEZ:      3.59
COORD X DEL CENTRO DE MASA:         3.60
EXCENTRICIDAD NATURAL:              0.01
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL:           0.01
SUMA DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA EN Y: 40359
<CONTINUAMOS>?
  
```

Entrepiso 2

```

C:\DOCUME~1\aleja\ESCRIT~1\PROGRA~1\PROGRA~1\JUA\EJ-ESP~1\ESPACIAL.EXE
*****
PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA
PORTICOS PARALELOS A LA DIRECCION X DE LA ESTRUCTURA
LOSA ESTRUCTURA PISO
*****
2
POR. EJE      COORD Y      RIGIDEZ X      COORD. Ycr
A             0.00         6935           -5.29
B             4.00         6935           -1.29
C             8.00         6935            2.71
D            12.00         4013            6.71

COORD Y DEL CENTRO DE RIGIDEZ:      5.29
COORD Y DEL CENTRO DE MASA:         5.20
EXCENTRICIDAD NATURAL:              -0.09
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL:           0.01
SUMA DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA EN X: 24818

<CONTINUAMOS?>
  
```

```

C:\DOCUME~1\aleja\ESCRIT~1\PROGRA~1\PROGRA~1\JUA\EJ-ESP~1\ESPACIAL.EXE
*****
PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA
PORTICOS PARALELOS A LA DIRECCION Y DE LA ESTRUCTURA
LOSA ESTRUCTURA PISO
*****
2
POR. EJE      COORD X      RIGIDEZ Y      COORD. Xcr
3             0.00         9891           -3.56
2             4.00         9891            0.44
1             8.00         6935            4.44

COORD X DEL CENTRO DE RIGIDEZ:      3.56
COORD X DEL CENTRO DE MASA:         3.60
EXCENTRICIDAD NATURAL:              0.04
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL:           0.01
SUMA DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA EN Y: 26718

<CONTINUAMOS?>
  
```

Entrepiso 3

```

C:\DOCUME~1\Aleja\ESCRIT~1\PROGRA~1\PROGRA~1..JUA\EJ-ESP-1\ESPACIAL.EXE
*****
PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA
PORTICOS PARALELOS A LA DIRECCION X DE LA ESTRUCTURA
LOSA ESTRUCTURA PISO
*****
3
POR. EJE      COORD Y      RIGIDEZ X      COORD. Ycr
A             0.00         6353           -5.26
B             4.00         6353           -1.26
C             8.00         6353            2.74
D            12.00         3560            6.74

COORD Y DEL CENTRO DE RIGIDEZ:      5.26
COORD Y DEL CENTRO DE MASA:         5.20
EXCENTRICIDAD NATURAL:              -0.06
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL:           0.01
SUMA DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA EN X: 22619

<CONTINUAMOS>?
  
```

```

C:\DOCUME~1\Aleja\ESCRIT~1\PROGRA~1\PROGRA~1..JUA\EJ-ESP-1\ESPACIAL.EXE
*****
PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA
PORTICOS PARALELOS A LA DIRECCION Y DE LA ESTRUCTURA
LOSA ESTRUCTURA PISO
*****
3
POR. EJE      COORD X      RIGIDEZ Y      COORD. Xcr
3             0.00         9183           -3.54
2             4.00         9183            0.46
1             8.00         6353            4.46

COORD X DEL CENTRO DE RIGIDEZ:      3.54
COORD X DEL CENTRO DE MASA:         3.60
EXCENTRICIDAD NATURAL:              0.06
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL:           0.01
SUMA DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA EN Y: 24718

<CONTINUAMOS>?
  
```

## VARIACIÓN DE LAS RIGIDECES CON RESPECTO AL ANÁLISIS MANUAL.

	RIGIDECES PROGRAMA ESPACIAL		
Portico	Piso 1	Piso 2	Piso 3
A	10662	6935	6353
B	10662	6935	6353
C	10662	6935	6353
D	6487	4013	3560
1	10662	6935	6353
2	14848	9891	9183
3	14848	9891	9183

	RIGIDECES ANALISIS MANUAL		
Portico	Piso 1	Piso 2	Piso 3
A	10437.697	6784.503	6461.437
B	10437.697	6784.503	6461.437
C	10437.697	6784.503	6461.437
D	6180.500	3773.934	3524.417
1	10437.697	6784.503	6461.437
2	14567.592	9705.192	9304.462
3	14567.592	9705.192	9304.462

	VARIACIÓN PORCENTUAL		
Portico	Piso 1	Piso 2	Piso 3
A	-2.15%	-2.22%	1.68%
B	-2.15%	-2.22%	1.68%
C	-2.15%	-2.22%	1.68%
D	-4.96%	-6.33%	-1.01%
1	-2.15%	-2.22%	1.68%
2	-1.92%	-1.91%	1.31%
3	-1.92%	-1.91%	1.31%

**VARIACIÓN DE LOS CENTROS DE MASA Y DE RIGIDEZ DE LOS ENTREPISOS CON RESPECTO AL ANÁLISIS MANUAL.**

<b>CENTROS DE MASA Y RIGIDEZ (PROGRAMA ESPACIAL)</b>				
<b>PISO</b>	<b>XCM</b>	<b>YCM</b>	<b>XCR</b>	<b>YCR</b>
Piso 3	3.6	5.2	3.54	5.26
Piso 2	3.6	5.2	3.56	5.29
Piso 1	3.6	5.2	3.59	5.35

<b>CENTROS DE MASA Y RIGIDEZ (ANÁLISIS MANUAL)</b>				
<b>Piso</b>	<b>XCM</b>	<b>YCM</b>	<b>XCR</b>	<b>YCR</b>
Piso 3	3.6	5.2	3.546	5.231
Piso 2	3.6	5.2	3.554	5.251
Piso 1	3.6	5.2	3.583	5.319

<b>VARIACIÓN PORCENTUAL</b>				
<b>Piso</b>	<b>XCM</b>	<b>YCM</b>	<b>XCR</b>	<b>YCR</b>
Piso 3	0.00%	0.00%	0.17%	-0.55%
Piso 2	0.00%	0.00%	-0.17%	-0.74%
Piso 1	0.00%	0.00%	-0.20%	-0.58%