UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
OCTUBRE, 2011

SISTEMA ESTRUCTURAL TIPO TÚNEL: ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO BAJO ACCIONES SÍSMICAS

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
presentado ante la
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
como parte de los requisitos para optar al título de
INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR: Andrés E. **Rondón Andueza**

PROFESOR GUÍA: **Ing. José Manuel Velásquez**

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a mi madre, a mi padre, a Pedro, a Gisela y toda mi familia por sus enseñanzas y apoyo incondicional para lograr esta meta.

Agradezco a mis profesores por todo lo aprendido en estos cinco años de carrera y en especial al Ing. José Manuel Velásquez ya que sin su ayuda no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

Por último quiero agradecer a Dios y a la Virgen por su respaldo y compañía en todo momento.

INDICE.

Resumen. 9

Capítulo I: Tema de Estudio. 10
I.1 Definición del Problema 10
I.2 Objetivo General 10
I.3 Objetivos Específicos. 10
I.4 Alcance 10

Capítulo II: Marco Teórico. 11
II.1 Sistema Estructural Tipo Túnel. 11
II.2 Normas de Diseño 12
II.3 Encofrados Tipo Túnel. 13
II.4 Mallas Electrosoldadas. 15
II.5 Sistema Constructivo. 16
II.6 Características Generales 18
II.7 Fundaciones. 20
II.8 Vulnerabilidad 20
II.9 Otros Sistemas Constructivos Industrializados. 21

Capítulo III: Marco Metodológico 26
III.1 Análisis Sísmicos. 26
III.1.1 Análisis Estático Equivalente. 26
III.2 Modelos Estudiados. 27
III.2.1 Primer Modelo. 28
III.2.2 Segundo Modelo. 35
III.2.3 Tercer Modelo. 37
III.2.4 Cuarto Modelo. 40

Capítulo IV: Resultados y Discusión. 45
IV.1 Resultados obtenidos en el Primer Modelo. 45
IV.1.1 Aporte de la losa en el comportamiento. 45
IV.1.2 Comportamiento de las Pantallas bajo Cargas Céntricas 46
IV.1.3 Comportamiento de las Pantallas bajo Cargas con Excentricidad. 48
IV.1.4 Estructura Aporticada. 51
IV.2 Resultados obtenidos en el Segundo Modelo. 52
IV.2.1 Comportamiento de las Pantallas bajo Cargas Céntricas. 52
IV.2.2 Comportamiento de las Pantallas bajo Cargas Excéntricas. 53
IV.3 Resultados obtenidos en el Tercer Modelo. 54

IV.3.1 Modelo sin aberturas en las pantallas..... 54
IV.3.2 Modelo con aberturas en las pantallas. 56
IV.4 Resultados obtenidos en el Cuarto Modelo. 60
IV.4.1 Distribución de Cargas con Dirección Global Y..... 60
IV.4.2 Distribución de Cargas con Dirección Global X..... 67
IV.4.3 Distribución de Cargas y Momento Torsor..... 75
IV.4.4 Flexión en las pantallas. 82

Capítulo V: Conclusiones. 85

Bibliografía..... 87

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS.

FIGURAS:

Figura 1. Estructura Tipo Túnel en Construcción. 12
Figura 2. Encofrado tipo túnel..... 13
Figura 3. Pórtico Wind Wall 14
Figura 4. Armado de muro con mallas electrosoldadas..... 16
Figura 5. Plano de Planta de una Estructura Tipo Túnel. 19
Figura 6. Encofrado en L. 19
Figura 7. Unión de encofrados en las esquinas. 22
Figura 8. Encofrado de muro y losa. 22
Figura 9. Esquema de formaletas para muros..... 23
Figura 10. Sistema de encofrados FORSA 23
Figura 11. Proceso constructivo del Sistema Aluma. Mesa elevada por una grúa. 24
Figura 12. Mesa Elevada utilizada para el Sistema Aluma Truss. 24
Figura 13. Encofrado Outinord en L invertida 25
Figura 14. Proceso constructivo, desencofrado. 25
Figura 15. Vista en 3D y Planta del Edificio sin Pantalla Transversal..... 28
Figura 16. Esquema de fuerzas aplicadas para evaluar la influencia de la losa en el comportamiento de la estructura..... 29
Figura 17. Esquema de distribución de fuerzas cortantes sobre la planta de la estructura. 30
Figura 18. Vista en 3D de la Estructura Aporticada y Planta. 34
Figura 19. Vista en 3D y Planta de la Estructura con Pantalla Trasversal 36
Figura 20. Esquema de distribución de fuerzas en el segundo modelo estudiado. 36
Figura 21. Vista en 3D y planta del tercer modelo. 38
Figura 22. Representación de las cargas aplicadas al tercer modelo. Unidades: Kgf. 38
Figura 23. Pantalla con dinteles. 40
Figura 24. Planta del cuarto modelo. Unidades en m 41
Figura 25. Vista espacial de la estructura 41
Figura 26. Esquemas que representan las derivas de la estructura con cada tipo de losa. (Shell a la Izquierda, Membrana a la Derecha)..... 45
Figura 27. Planta del modelo y etiquetas en las pantallas para identificarlas. 57

TABLAS:

Tabla 1. Dimensiones del Primer Modelo. 30
Tabla 2. Parámetros establecidos para el análisis estático del modelo 1. 31
Tabla 3. Corte Basal del primer modelo. Cálculos y Resultado. 32
Tabla 4. Distribución de Fuerzas Sísmicas y Momentos Torsores. 33
Tabla 5. Características de la Estructura Aporticada. 34
Tabla 6. Distribución de Cargas en la Estructura Aporticada. 35
Tabla 7. Distribución de Fuerzas Sísmicas en la Estructura Aporticada y Corte Basal. 35
Tabla 8. Dimensiones del Segundo Modelo. 36
Tabla 9. Distribución de Cargas en el Segundo Modelo. 37
Tabla 10. Fuerzas y Momentos Torsores aplicados a la Estructura. 37
Tabla 11. Dimensiones del tercer modelo. 40
Tabla 12. Dimensiones del cuarto modelo. 43
Tabla 13. Estimación de cargas gravitacionales aplicadas a la edificación 44
Tabla 14. Relación entre el área transversal de las pantallas y el área total de planta. 44
Tabla 15. Resultados del análisis estático equivalente realizado al cuarto modelo. 44
Tabla 16. Resultados de Derivas en la Estructura. 45
Tabla 17. Distribuciones de Cortes, Momentos y Tensiones calculadas con fórmulas tradicionales. 48
Tabla 18. Fuerzas y Momentos generados por Etabs y calculados manualmente. Cargas aplicadas en el sentido Y. 49
Tabla 19. Fuerzas y Momentos generados por Etabs y Calculados manualmente. Cargas aplicadas en el sentido X. 50
Tabla 20. Repartición de la fuerza cortante en dirección Y por cada pantalla. 52
Tabla 21. Repartición de la fuerza cortante en dirección X por cada pantalla. 52
Tabla 22. Distribución de fuerzas sísmicas en las pantallas del segundo modelo. 53
Tabla 23. Desplazamientos en las pantallas del tercer modelo. 55
Tabla 24. Distribución de fuerzas sísmicas sobre las pantallas del tercer modelo. 55
Tabla 25. Distribución de cargas para el modelo con aberturas y losa tipo membrana. 57
Tabla 26. Comparación entre las distribuciones de cargas para los casos estudiados. 58
Tabla 27. Distribución de Cargas en dirección global Y. Cuarto Piso. 61
Tabla 28. Distribución de Cargas en dirección global Y. Tercer piso. 62
Tabla 29. Distribución de Cargas en dirección global Y. Segundo piso. 63
Tabla 30. Distribución de Cargas en dirección global Y. Primer piso. 64
Tabla 31. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. 66
Tabla 32. Distribución de Cargas en dirección global X. Cuarto Piso. 68
Tabla 33. . Distribución de Cargas en dirección global X. Tercer Piso 69
Tabla 34. Distribución de Cargas en dirección global X. Segundo Piso. 70
Tabla 35. Distribución de Cargas en dirección global X. Primer Piso. 71
Tabla 36. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Cuarto Piso 72

Tabla 37. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Tercer Piso..... 73
Tabla 38. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Segundo Piso 73
Tabla 39. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Primer Piso 74
Tabla 40. Distribución de Cargas con momento torsor aplicado. Cuarto Piso 76
Tabla 41. . Distribución de Cargas con momento torsor aplicado. Tercer Piso 77
Tabla 42. . Distribución de Cargas con momento torsor aplicado. Segundo Piso..... 78
Tabla 43. . Distribución de Cargas con momento torsor aplicado. Primer Piso..... 79
Tabla 44.Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Cuarto Piso 80
Tabla 45. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Tercer Piso..... 81
Tabla 46. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Segundo Piso 81
Tabla 47. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Primer Piso 82
Tabla 48. Momentos flectores por piso para pantallas P1 y P5 83
Tabla 49. . Momentos flectores por piso para pantallas P3 y P7..... 83
Tabla 50. Momentos flectores por piso para pantallas P4 y P8 83

GRÁFICOS:

Gráfico 1. Distribución de Esfuerzos Cortantes en cada piso de la Estructura. 46
Gráfico 2. Distribución de Esfuerzos por Flexión en cada piso de la Estructura. 47
Gráfico 3. Distribución de Esfuerzos Cortantes en las Columnas de la Estructura Aporticada. .. 51

RESUMEN.

Con el sistema constructivo tipo túnel de elaboran estructuras constituidas por losas macizas y muros de pared delgada que son vaciados simultáneamente utilizando encofrados metálicos en forma de U invertida.

El comportamiento de estas edificaciones difiere de los sistemas aporticados, entre otras razones, debido a su rigidez. A pesar de su extenso uso en Venezuela y el mundo, existe muy poca bibliografía que trate este tema, en este sentido, este trabajo tiene como finalidad estudiar la conducta de estas estructuras cuando son sometidas a cargas sísmicas y resaltar la importancia de ciertos elementos que ayudan al comportamiento de las edificaciones.

Se estudiaron cuatro modelos representativos los cuales fueron analizados mediante el programa de diseño ETABS v9.7.1 y a su vez se verificaron los resultados del programa mediante fórmulas tradicionales.

En primer lugar se determinó la influencia de la losa maciza de poco espesor en el comportamiento. Se comprobó que este elemento debe considerarse en el análisis de debido a que aporta rigidez a la estructura disminuyendo las derivas y ayudando a distribuir las cargas sísmicas sobre las pantallas.

Por otra parte se estudió la distribución de esfuerzos en los muros de pared delgada donde se comprobó que los cortantes tienden a concentrarse en el centro del tramo mientras que los máximos generados por flexión se consiguen en los extremos. Los máximos valores de tensiones obtenidos en estas estructuras son bastante inferiores a los de una estructura aporticada lo que demuestra que a pesar de que son edificaciones más rígidas que deben absorber más carga sísmica, tiene mayor capacidad para soportarla.

En cuanto a la distribución de cargas en la estructura se verificó que se lleva a cabo de acuerdo a la rigidez de las pantallas y que mayormente la componente por flexión es la que domina en la repartición, sin embargo, esto depende de la relación de esbeltez de los muros.

Por último se estudió el aporte de los dinteles a la rigidez, dando como resultado que estos elementos son de suma importancia debido a que logran acoplar los muros y dependiendo de su relación de esbeltez influyen con mayor relevancia en la distribución de cargas sísmicas de la estructura.

CAPÍTULO I: TEMA DE ESTUDIO.

I.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A pesar del amplio uso de este sistema constructivo en la actualidad, existe muy poca información bibliográfica que estudie la respuesta de las estructuras tipo túnel ante las acciones sísmicas y se ha comprobado que este tipo de edificaciones tienen un comportamiento muy distinto a los sistemas aporticados tradicionales.

Este trabajo de grado pretende aportar un análisis que ayude a determinar ciertos parámetros que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar el diseño de las estructuras tipo túnel. En el desarrollo del trabajo se estudian modelos representativos con el programa de diseño ETABS y a su vez se hace uso fórmulas tradicionales que logren dar una aproximación importante a los resultados del programa con la finalidad de demostrar que mediante dichas fórmulas se puede tener una idea bastante clara del comportamiento de la estructura.

I.2 OBJETIVO GENERAL.

Analizar el comportamiento de las estructuras tipo túnel cuando son sometidas a cargas sísmicas.

I.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Estudiar la influencia de las losas en la rigidez de las estructuras tipo túnel.

- Analizar las distribuciones de esfuerzos cortantes y por flexión en los muros de pared delgada generadas por el programa de diseño ETABS y verificar los resultados con fórmulas tradicionales.

- Estudiar las distribuciones de cargas sísmicas sobre las pantallas y caracterizarlas utilizando fórmulas que logren representar los resultados.

- Investigar la importancia de los dinteles como elemento que aporta rigidez a las pantallas.

I.4 ALCANCE

La investigación abarca el análisis del comportamiento de las estructuras tipo túnel ante acciones sísmicas. Se estudiaron modelos representativos con el programa de diseño ETABS v9.7.1 y se expusieron fórmulas tradicionales para obtener resultados aproximados a los valores arrojados por el programa. Las cargas sísmicas se determinaron a través de análisis estáticos equivalentes a los modelos estudiados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

II.1 SISTEMA ESTRUCTURAL TIPO TÚNEL.

Las edificaciones que son construidas mediante el sistema estructural tipo túnel divergen del sistema convencional de pórticos debido a que en lugar de vigas y columnas de concreto reforzado, están conformadas en su mayor parte por elementos de pared delgada y losas macizas para cuyo refuerzo se emplean mallas electrosoldadas. Por otra parte, los encofrados utilizados para el vaciado de las estructuras son módulos de acero recuperables de dimensiones variables que se presentan en forma de U invertida.

Las estructuras construidas con encofrados tipo túnel son comúnmente llamadas estructuras apantalladas donde los elementos de pared delgada son referidos como pantallas. En este trabajo de grado será adoptará esta denominación para facilitar el entendimiento y redacción del mismo.

Según Kalkan y Yüksel (2008), en los últimos años la utilización de este método constructivo se ha venido desarrollando ampliamente y en este sentido cada vez más son las obras donde este emplea. En Latinoamérica y en otras partes del mundo este tipo de estructuras son comúnmente planteadas para proyectos de viviendas de interés social, hoteles, residencias estudiantiles, cárceles y en general donde el diseño de la planta tipo de la estructura no varía a lo largo de todos sus pisos. Este método también ha sido empleado en zonas afectadas por fenómenos sísmicos debido a su rápida y sencilla construcción.

Entre las principales virtudes de este sistema constructivo, se encuentra la velocidad con la que se pueden levantar los niveles de la edificación, es posible vaciar un piso de la edificación en veinticuatro horas a diferencia de los sistemas convencionales donde es necesario dejar que el concreto fragüe por aproximadamente siete días o más. Los costos financieros de emplear este sistema son relativamente bajos debido al menor tiempo de construcción, en ocasiones es preferible que la construcción de la obra se realice en menor tiempo y que la inversión en material sea menos económica. Además, al utilizar mallas electrosoldadas como refuerzo para el concreto, se facilita mucho el armado de la estructura, por lo que se minimizan los errores constructivos.

Por otra parte, se ha comprobado que las estructuras a base de pantallas pudieran llegar a comportarse mejor bajo acciones sísmicas que las estructuras convencionales (Kalkan, Yüksel, 2008). Entre algunos de los inconvenientes que presenta este sistema se encuentran las modificaciones que puedan hacerse una vez terminadas las edificaciones,

es decir, las paredes de las viviendas son de concreto estructural por lo que no es posible realizar reformas arquitectónicas o remodelaciones importantes.

En la figura 1 se presenta una estructura construida bajo el sistema tipo túnel.

Figura 1. Estructura Tipo Túnel en Construcción.
Fuente: Andrés E. Rondón.

II.2 NORMAS DE DISEÑO

A pesar de su extenso uso, existe poca bibliografía que trate el tema del diseño de las estructuras tipo túnel y sus consideraciones. Las normas que comúnmente se utilizan en Venezuela (Covenin 1753, UBC 1997, IBC 2000, ACI 318) se limitan al diseño de muros estructurales que en ocasiones puede ser muy distinto al de las pantallas. En consecuencia, se ha hecho un intento para adaptar los procedimientos de diseño de sistemas convencionales y sistemas mixtos de pórticos con muros para este tipo de estructuras.

En este sentido, a nivel mundial, se han realizado estudios para verificar la validez de las fórmulas especificadas en las normas de diseño dando diferencias importantes entre los resultados obtenidos y los esperados (Balkaya y Kalkan, 2004).

La implementación de las normas de diseño existentes sin su debido cuidado puede tener severas consecuencias. Por lo tanto, es necesario seguir estudiando el comportamiento de este tipo de estructuras con el fin de mejorar su diseño.

II.3 ENCOFRADOS TIPO TÚNEL.

Los encofrados tipo túnel son moldes de láminas metálicas que se caracterizan por tener una estructura en forma de U invertida que está conformada por dos o tres planos verticales y uno horizontal. Esta estructura es capaz de soportar las presiones generadas por el concreto al vaciarse y logra moldear el material para obtener la arquitectura diseñada.

Figura 2. Encofrado tipo túnel.
Fuente: Branger (2004)

En Venezuela, diversas empresas elaboran los encofrados y los mismos pueden ser adquiridos junto con todos los elementos necesarios para lograr el correcto armado en obra. En importante destacar que el diseño de los encofrados se realiza específicamente para una planta típica de edificios pero es posible realizar ciertas modificaciones para adaptarlos a plantas diferentes.

Branger, E (2004) describe en su trabajo final de grado los distintos elementos que constituyen un juego de encofrados tipo túnel, a continuación se especifican.

- Pórticos: Son las piezas esenciales, son construidas con láminas metálicas y dispuestas en forma de U invertida.

- Eles: Cada pórtico está compuesto por dos eles formadas por una lámina vertical y una horizontal sujetas por dos diagonales.
- Extensiones: Son piezas que se colocan entre las dos eles para darle la extensión requerida por el diseño. También forman parte del techo del encofrado cuando se realice el vaciado.
- Llave Central: Es el elemento necesario para poder desencofrar el encofrado tipo. Este elemento se desatornilla y se retira para retraer el modulo poder desencofrar.
- Pórticos *"Wind Wall"*: Son elementos similares a los pórticos con la diferencia que estos poseen una pared frontal adicional.

Figura 3. Pórtico Wind Wall
Fuente: Branger (2004)

- Laterales: Son los complementos de los pórticos para poder encofrar un muro que funcione como fachada de una estructura.
- Brocales: Elemento que se utiliza para poder vaciar una base de diez centímetros de la pantalla superior. Dicha base es la guía para poder colocar los encofrados en la siguiente planta.
- Sargentos: Son elementos que se colocan a lo largo de los brocales para evitar que los mismos se separen en el momento del vaciado.
- Compuertas: Elementos que forman parte del equipo de los brocales y sirven para cortar el vaciado en los vanos de compuertas y final de los muros.
- Crucetas: Moldes metálicos para crear cruces de concreto con el espesor de la pantallas.
- La "T": Similar a las crucetas pero sólo fabrica una te para garantizar el espesor de pantallas y losas.
- Tensores: Son elementos utilizados para encoger y extender los pórticos para poder encofrar y desencofrar, se encuentran colocados entre las dos eles.
- Soportes de Rueda: Mantienen al encofrado apoyado al suelo y dan movilidad a través de las ruedas.

- Marcos: Existen moldes para detener el concreto y dejar aberturas para puertas o ventanas o cerrar el vaciado en los extremos de las losas y pantallas.
- Accesorios: Todos aquellos equipos que tienen como finalidad de sostener los encofrados entre sí.
- Plataformas: Soportes a donde se desplazan los pórticos para ser tomados por la grúa y trasladarlos hacia su nueva ubicación.
- Andamios: Plataformas adheridas a los laterales donde los trabajadores pueden desempeñar sus funciones.

II.4 MALLAS ELECTROSOLDADAS.

Las mallas electrosoldadas son utilizadas en este tipo de estructuras para reforzar tanto los muros de pared delgada como las losas macizas, las mismas están constituidas por hilos de acero dispuestos longitudinal y transversalmente, sobrepuestos y soldados en todos los puntos de contacto entre ellos.

El uso de las mallas electrosoldadas en este sistema constructivo y en otros similares es indispensable para cumplir con los ciclos de trabajos deseados ya que el armado de las pantallas y losas se hace en corto tiempo gracias a que vienen elaboradas desde un proveedor.

En general, el acero dispuesto es de alta resistencia, los hilos pueden llegar a soportar una tensión de cinco mil kilogramos por centímetro cuadrado (5000 kg/cm^2) por lo que el acero necesario en los elementos se reduce un dieciséis por ciento (16%).

El diseño del acero, al igual que en los sistemas convencionales, dependerá de las solicitaciones a las cuales esté sometida la estructura, de tal manera que tanto la separación como el calibre de los hilos longitudinales y transversales pueden variar para cada caso. Sin embargo, es recomendable que se trate de uniformizar los tipos de mallas que se vayan a usar en los muros y losas para evitar errores constructivos, facilitar el armado de las estructuras y disminuir las pérdidas de materiales de la obra.

Una vez realizada la ingeniería del proyecto se deben mandar a hacer las mallas con las dimensiones y especificaciones generadas por el proyectista. Las fábricas donde se realizan estos elementos permiten cierta flexibilidad en los diseños, no obstante, se tienen limitaciones en cuanto al ancho total de las mismas (En general, menor a 2,40 metros) y a la separación de los hilos ya que sólo pueden hacerse cada múltiplos de cincuenta milímetros.

El diseño de las mallas electrosoldadas para este tipo de sistemas debe hacerse según las especificaciones que dista la Norma Convenin 1753:2006. Por otra parte, se

recomienda el uso de la fórmula de Cárdenas y Magura (1973) que es habitual para el diseño a flexocompresión de elementos con el acero uniformemente distribuido. Esta fórmula relaciona el momento último de la sección con la carga axial aplicada, es decir, trabaja con el diagrama de interacción del elemento.

A continuación se presenta la figura 4 donde se muestra el armado típico de una pantalla en una estructura tipo túnel con mallas electrosoldadas.

Figura 4. Armado de muro con mallas electrosoldadas.
Fuente: Dunne Group Ltd (2009)

II.5 SISTEMA CONSTRUCTIVO.

Los edificios Tipo Túnel se realizan mediante un sistema constructivo industrializado en el cual es posible producir un piso de estructura en veinticuatro horas a diferencia de los sistemas convencionales donde es necesario esperar que el concreto obtenga una resistencia importante para poder desencofrar.

En general, los pasos que se siguen en este sistema constructivo son los que se muestran a continuación:

1. En primer lugar se deben realizar ensayos de campo para asegurar que el concreto vaciado el día anterior haya alcanzado la resistencia suficiente para poder soportar las cargas del piso superior. Un instrumento para determinar la capacidad del concreto en obra es el esclerómetro. Según Velásquez (Comunicación personal, 4 de Octubre de 2011) la resistencia del concreto el día posterior al vaciado es de aproximadamente cincuenta kilogramos por centímetro cuadrado (50 kg/cm^2). Con esta resistencia se logra evitar que se produzcan flechas importantes en la losa siempre y cuando la luz de la misma sea menor a cuatro metros.

Además, es posible utilizar concreto de alta resistencia inicial para garantizar que se alcance la capacidad necesaria en la mezcla. Junto con la realización de los ensayos se deben remover todos aquellos elementos no estructurales que se instalaron durante el vaciado como por ejemplo el brocal guía que permite dejar los arranques de concreto para plantear la pantalla superior.

2. El acero es colocado según las especificaciones del proyectista, así mismo se van ubicando las instalaciones sanitarias y eléctricas que van a quedar embutidas en el concreto.

   Paralelamente se procede desencofrar la estructura activando mecanismos que permiten retraer los módulos, posteriormente se empujan manualmente hacia un soporte donde la grúa puede cargarlos y colocarlos en su próxima posición. Los encofrados deben ser limpiados y se suele lubricarlos con aditivos desencofrantes para evitar que el concreto se adhiera a ellos.

   Los módulos de túnel o semitúnel disponen de una estructura reticular para soportar las cargas de la losa, así como también de pernos con separadores que cumplen la función de unir los cajones lateralmente, garantizar la separación entre ellos y el espesor de los muros.

3. Una vez que se tenga todo posicionado y se hayan nivelado los encofrados, se comienza el vaciado de las pantallas y la losa. Se debe tener en cuenta que es necesario dejar un brocal guía en la placa para evitar desviaciones en la construcción de los muros en los pisos superiores.

4. Una vez terminado el vaciado, el concreto realiza su fraguado durante la noche.

Las estructuras tipo túnel son monolíticas debido a que el vaciado de las losas y los muros se hace de manera simultánea. Esta operación permite que la conexión entre ambos elementos tenga un mejor comportamiento bajo acciones sísmicas retardando la formación de rotulas plásticas. Es común colocar cuatro barras de acero para ayudar al confinamiento del concreto en dicha conexión.

En el trabajo de grado de Di Francesco y Herrera (1979) se distribuyen los tiempos de un ciclo de trabajo para una superficie aproximada de trecientos metros cuadrados de la siguiente manera, a pesar de lo antiguo de este documento, las duraciones de las actividades permanecen válidas en la actualidad:

Actividades	Duración
Desencofrado-Armado-Transporte-Limpieza-Encofrado. (Pasos 1 y 2):	6 a 7 horas
Vaciado del Concreto (Paso 3):	5 a 6 horas
Fraguado y Curado del Concreto (Paso 4):	13 a 11 horas
Total Ciclo Promedio:	**24 horas**

Gracias a que los edificios tipo túnel se construyen bajo un sistema constructivo en serie e industrializado, los procesos se repiten diariamente por lo que los trabajadores pueden llegar a acostumbrarse rápidamente a los métodos y pueden identificar las técnicas más eficientes, en este sentido los procedimientos se logran estandarizar y la productividad de la construcción se mejora a medida que el avance de la obra aumenta. En este sentido, Branger, A (Comunicación personal, 19 de septiembre de 2011) como gerente de la empresa Túneles Industriales C.A recomienda que para la construcción de una planta de ciento cuarenta metros cuadrados se debe trabajar con al menos treinta y cinco obreros repartidos entre todas las actividades que se nombraron anteriormente.

II.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES.

En las estructuras tipo túnel, los principales elementos para soportar las cargas laterales y verticales son los muros de pared delgada o pantallas. Los espesores de dichos muros son relativamente pequeños debido la relación entre el área trasversal de los mismos y el área de la planta de los edificios, dicha relación se encuentra alrededor de cuatro a cinco por ciento (Yakut y Gulkan, 2003).

En general, la mayor parte de las pantallas y las losas tienen el mismo espesor, el cual se mantiene en todos los pisos de la estructura, estos pueden variar entre doce y veinticinco centímetros dependiendo de la cantidad de pisos, las solicitaciones y la longitud de las luces en la losa.

A pesar de que la arquitectura puede ser variada, por facilidades constructivas los diseños de los edificios tipo túnel suelen ser simétricos en una o dos direcciones, entre otras razones, para evitar problemas de torsión. También es común que el diseño tenga en cuenta el proceso de encofrado y desencofrado de la estructura de tal manera que el procedimiento de colocar y retirar las formaletas pueda realizarse en poco tiempo, en este sentido, la mayoría de los espacios en las plantas del diseño deben tener una salida al exterior.

En la figura 5 se muestra la planta típica de un edificio realizado con el sistema tipo túnel.

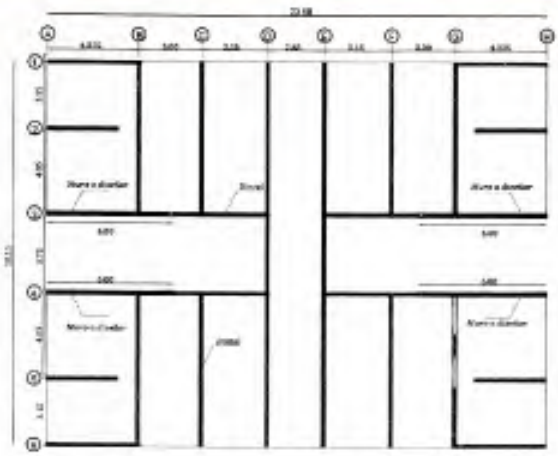

Figura 5. Plano de Planta de una Estructura Tipo Túnel.
Fuente: Fargier (2010)

El sistema tipo túnel, como se dijo anteriormente, utiliza encofrados recuperables que permiten el vaciado simultáneo de los muros y losas. Actualmente, se pueden construir encofrados con las medidas necesarias para ajustarse a las luces que se indican en el diseño de los edificios. Una vez terminada la obra, esos elementos pueden ser modificados para ser utilizados en el diseño de otra planta.

La figura 6 muestra un encofrado en forma de L el cual no es común en Venezuela. En este sistema se utilizan pares de estas formaletas para vaciar losas y muros. Para luces grandes (cercanas a cuatro metros) se requiere colocar un soporte adicional en el medio de los encofrados, en ese caso se dificulta realizar el ciclo de trabajo en veinticuatro horas debido a que es necesario esperar un mayor tiempo de fraguado de la mezcla para evitar que se produzcan flechas importantes en la losa por lo que se retrasa la construcción de los edificios.

Figura 6. Encofrado en L.
Fuente: Dunne Group Ltd (2009)

Las luces típicas en las losas y techo varían entre tres y cinco metros. Las alturas comunes en estas estructuras se encuentran alrededor de 2,30 y 3,0 metros. Además, los encofrados permiten variar su altura unos pocos centímetros para lograr la nivelación de la placa. Por otra parte, la medida estándar del largo de los encofrados es 2,50 metros. (Yakut y Gulkan, 2003).

Los primeros edificios que se construyeron en Venezuela con el sistema constructivo tipo túnel fueron de más de quince plantas, no obstante se conseguían problemas al momento de encofrar y desencofrar las plantas superiores debido a las capacidades de las grúas y el peso de los moldes. Además, los espesores de las pantallas debían ser más anchos y la reducción de los mismos a lo largo del edificio complicaba la construcción ya que los encofrados no permitían modificar sus dimensiones. Actualmente, las estructuras tienden a limitarse a doce pisos y comúnmente se consiguen de cuatro a seis pisos.

II.7 FUNDACIONES.

Las estructuras tipo túnel no tienen ninguna limitante en relación al tipo de fundaciones que pueden utilizar, es decir, los cimientos de los edificios podrían ser tanto superficiales como profundos dependiendo de las características del suelo. Existen soluciones típicas para las estructuras apantalladas.

Según Velásquez (Comunicación personal, 1 de Octubre de 2011), el sistema de fundación directa ideal es el de placas de fundación y en menor grado el de tiras continuas bajo las pantallas ya que ambos garantizan una buena relación entre superestructura e infraestructura. En cuanto a los cabezales de las fundaciones profundas, recomienda que todas las pantallas queden apoyadas sobre una viga de fundación dispuesta sobre varios pilotes, cada eje de pantallas debe tener al menos tres pilotes, dos en los extremos y uno en el centro del tramo.

II.8 VULNERABILIDAD

Los edificios tipo túnel son estructuras muy rígidas debido a la cantidad de muros y losas macizas que presentan. Se ha comprobado que los muros estructurales sometidos a acciones sísmicas tienen un comportamiento efectivo, la gran densidad de estos elementos y disposición cuadriculada de losas y muros en este tipo de sistemas ayuda a soportar los cortes generados y a que la estructura pueda mantenerse en un rango elástico dependiendo del sismo y de otras variables. (Yakut y Gulkan, 2003).

A pesar de que la estructura es muy rígida y frágil, tiene una gran capacidad resistente debido a la cantidad de material que está presente. En las estructuras aporticadas, el área transversal de las columnas puede representar hasta 1,5% del área de

la planta, mientras que en las estructuras tipo túnel el área transversal de los muros representa alrededor de 4.5% del área de la planta. En este sentido, las últimas poseen mucha más superficie actuante bajo acciones sísmicas por lo que la tensión cortante disminuye gracias a que se puede distribuir a lo largo de todas las pantallas. En los sistemas tipo túnel, una pantalla puede fallar en parte de su extensión y la estructura puede mantenerse en pie sin llegar a sufrir mayores daños.

Los extremos de los muros pueden estar sujetos a grandes deformaciones debido a las solicitaciones, por lo que puede ser necesario reforzarlos. Sin embargo, como los espesores de los muros son pequeños, es complicado realizar el armado de los elementos de bordes, es posible agregar algunas barras de acero longitudinales y transversales para ayudar a resistir las cargas que se presentan en estas zonas siempre que los muros deban ser reforzados, para ello se deben cumplir las condiciones especificadas en el apartado 14.6.1 de la Norma Covenin 1753-2006 "Proyecto de Construcción de Obras en Concreto Estructural"

Los dinteles que se forman sobre las puertas y ventanas experimentan grandes fuerzas cortantes, es posible que sea necesario realizar un armado especial para soportar las solicitaciones. Se colocan barras diagonales ancladas a los muros cuya finalidad es contrarrestar las grietas que pudieran formarse en estos elementos debido al corte producido en esas zonas.

Por último, las estructuras tipo túnel pueden levantarse sobre cualquier tipo de fundaciones, desde pilotes hasta losas de fundación. Sin embargo, es importante destacar que la conexión entre la fundación y la estructura debe ser diseñada tomando en cuenta que el corte actuante es realmente significativo debido a la rigidez del edificio y a la capacidad de absorber fuerzas sísmicas.

II.9 OTROS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS.

Además del sistema constructivo tipo túnel, existen varios sistemas industrializados que también tienen el objetivo de realizar edificaciones a los menores costos financieros posibles simplificando los procesos constructivos tradicionales.

A continuación se presenta una reseña breve de tres sistemas que se utilizan en la actualidad.

SISTEMA FORSA.

Es un sistema constructivo que utiliza moldes de aluminio manoportables para realizar el vaciado simultáneo de muros y losas de estructuras, está diseñado para la producción masiva de viviendas.

El sistema FORSA permite minimizar los tiempos y costos de ejecución de la obra ya que se logra vaciar diariamente todos los muros de la vivienda y la losa monolíticamente, eliminando la necesidad de utilizar tabiquería para cerrar los espacios internos. Al igual que el sistema constructivo tipo túnel, utiliza mallas electrosoldadas para reforzar los muros.

Los paneles o moldes pesan veintidós kilos por metro cuadrado (22 kg/m^2) lo que permite que cualquier trabajador pueda levantarlos para colocarlos en su posición según el diseño. El panel estándar tiene un largo de sesenta centímetros (60 cm) y altura de dos metros con diez centímetros (2.10 m) y dos metros con cuarenta centímetros (2.40 m).

A continuación se presentan una serie de figuras que logran ilustrar los componentes del sistema y armado de los encofrados.

Figura 8. Encofrado de muro y losa.
Fuente: Catalogo FORSA (2010)

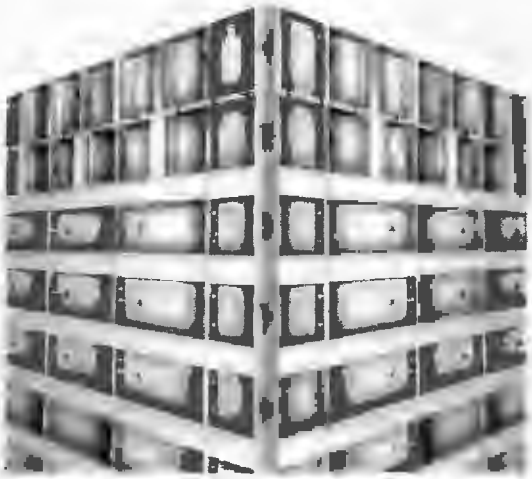

Figura 7. Unión de encofrados en las esquinas.
Fuente: Catalogo FORSA (2010)

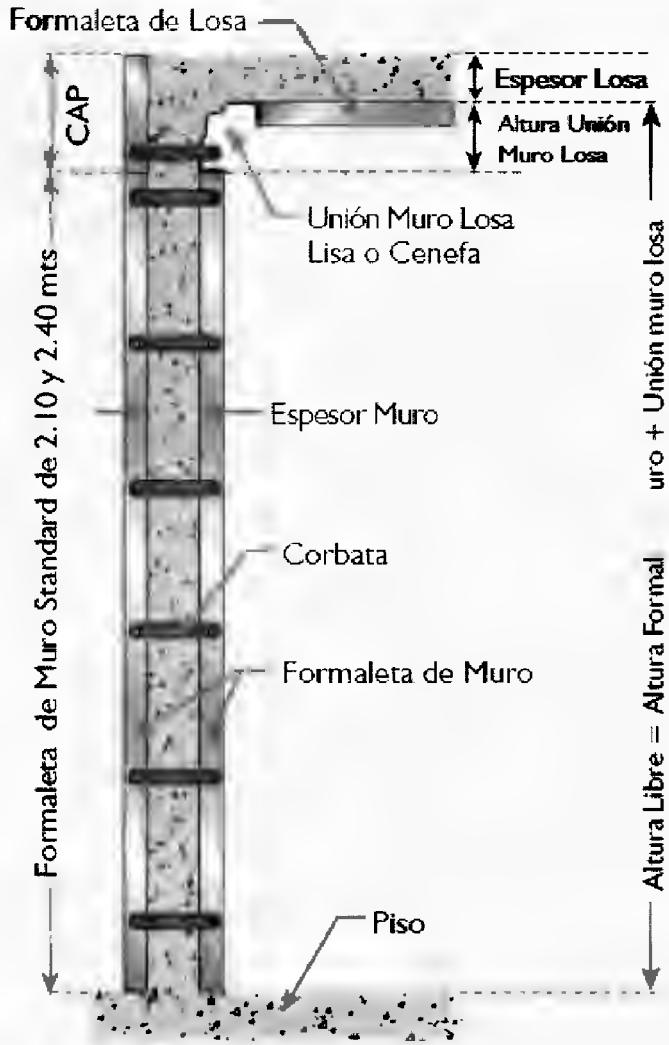

Figura 10. Sistema de encofrados FORSA
Fuente: Catalogo FORSA (2010)

Figura 9. Esquema de formaletas para muros.
Fuente: Catalogo FORSA (2010)

SISTEMA ALUMA TRUSS.

Este sistema cuenta con mesas de aluminio que abarcan gran cantidad del área de encofrado de las losas de las estructuras lo que significa una reducción en materiales, mano de obra y tiempo de ejecución.

Las mesas utilizadas como encofrados tienen una tecnología que permite nivelar para alcanzar la altura exacta de las losas, así como también poseen vigas de aluminio que cumplen la función de soportar el peso muerto del concreto cuando es vaciado. Una vez que se fragua el material, las mesas pueden ser retraídas y tienen ruedas para ser transportadas a su nueva ubicación.

Las siguientes figuras muestran las mesas del sistema Aluma Truss y sus elementos.

Figura 12. Mesa Elevada utilizada para el Sistema Aluma Truss.
Fuente: Aluma System Inc.

Figura 11. Proceso constructivo del Sistema Aluma. Mesa elevada por una grúa.
Fuente: Aluma System Inc.

SISTEMA DE ENCOFRADOS "TIPO TUNEL" DE OUTINORD.

Outinord es una empresa francesa que se especializa en elaborar encofrados metálicos para el vaciado de elementos estructurales tales como columnas, muros, losas, etc. Ellos han desarrollado un sistema de encofrados para realizar estructuras tipo túnel en forma de L invertida tales como el que se mostró anteriormente.

Este sistema funciona con pares de estos encofrados que forman una U invertida la cual da el espacio de diseño de la estructura. Se hace referencia a este sistema debido a la diferencia entre los moldes con respecto a los utilizados en Venezuela. Sin embargo, el comportamiento de las estructuras es igual.

A continuación se presentan ciertas fotos que ilustran el método constructivo con este tipo de encofrados.

Figura 13. Encofrado Outinord en L invertida
Fuente: Outinord

Figura 14. Proceso constructivo, desencofrado.
Fuente: Outinord

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.

El procedimiento empleado en este trabajo especial de grado pretende analizar el comportamiento de las estructuras tipo túnel sometidas a fuerzas sísmicas, en ese sentido se realizaron diversas comparaciones entre los resultados obtenidos a través del programa de ETABS v9.7.1 y el estudio de los elementos realizado mediante fórmulas tradicionales de resistencia de materiales y estructuras.

Se analizaron cuatro modelos para poder caracterizar la conducta de los edificios tipo túnel. El nivel de cada modelo va incrementando hasta llegar a una planta típica de una estructura real. Para verificar su comportamiento, a cada modelo se le realizó un análisis sísmico particular.

III.1 ANÁLISIS SÍSMICOS.

Para lograr los objetivos planteados en esta investigación se realizaron análisis sísmicos estáticos equivalentes a los modelos escogidos, el procedimiento para llevar a cabo los mismos fue basado en la norma Covenin 1756:2001.

En la sección 9.3 de la referida norma se especifican los criterios para la selección de los métodos de análisis de las estructuras, en función de dichos criterios se escogió el análisis sísmico para cada modelo.

III.1.1 ANÁLISIS ESTÁTICO EQUIVALENTE.

La norma Covenin 1756:2001 en su sección 9.3 describe el procedimiento para realizar un análisis estático equivalente, en primer lugar nombra las expresiones para calcular la fuerza cortante basal sobre la estructura la cual se detalla seguidamente:

$$Vo = \mu . A_d . W \qquad \text{(III-1)}$$

Siendo:

Vo: Fuerza cortante a nivel de base.

A_d: Ordenada del espectro de diseño, expresada como una fracción de la aceleración.

W: Peso total de la edificación por encima del nivel de base.

μ: Mayor de los valores dados por las fórmulas 9.2 y 9.3 de la norma.

Adicionalmente se verificó que el valor $\frac{Vo}{W}$ fuera mayor que $\frac{\alpha Ao}{R}$ y de esta manera determinar el corte basal mínimo:

Donde:

α: Factor de importancia.

Ao: Coeficiente de aceleración horizontal para cada zona.

R: Factor de reducción.

El período fundamental de la estructura de calculó según la sección 9.3.2 de la norma.

Una vez calculado el corte basal de la estructura, se procedió a realizar la distribución vertical de fuerzas en cada piso de la estructura según la sección 9.3.3, la fórmula especificada que se muestra a continuación:

$$Vo = Ft + \sum_{i=1}^{N} Fi \qquad \text{(III-2)}$$

Donde:
Ft: Fuerza lateral concentrada en el nivel N, se calcula según la fórmula 9.9 de la norma.
Fi: Fuerza lateral correspondiente al nivel i de la estructura, se calcula según la fórmula 9.11 de la norma.

En cuanto a la torsión que se le debe aplicar a la estructura, la sección 9.5 de la norma explica el método de la torsión estática equivalente. Sin embargo, para simplificar los cálculos se tomó en todas las ocasiones un momento torsor generado por una excentricidad de quince por ciento del largo o ancho de la estructura. Este valor es utilizado para estudiar el comportamiento de los modelos a torsión.

III.2 MODELOS ESTUDIADOS.

La investigación de este Trabajo Especial de Grado se efectúa sobre cuatro modelos estructurales cuyo diseño logra representar el comportamiento de las estructuras tipo túnel en general, es decir, los resultados y conclusiones obtenidas son totalmente características para cualquier edificación construida bajo este sistema industrializado.

Es importante destacar que todos los modelos fueron simulados con el programa de análisis estructural ETABS v9.7.1 para luego realizar una comparación de resultados con valores obtenidos manualmente a través de fórmulas.

En el desarrollo del trabajo se aumentó progresivamente la complejidad del diseño de los modelos, así como también la profundidad de sus análisis. Sin embargo, en el estudio permanecieron constantes algunos parámetros que se definen a continuación:

- Los cuatro modelos fueron evaluados con elementos finitos con el objetivo de obtener resultados más exactos por parte del programa.
- Se supusieron las conexiones entre los muros y las fundaciones de la estructura como rígidas.
- Se supuso los resultados arrojados por el programa de diseño como correctos, asumiendo que los errores que pueda tener son despreciables.

A continuación se exponen con exactitud las características de cada uno de los modelos estudiados, así como también se describe el procedimiento de análisis que se llevó a cabo.

III.2.1 PRIMER MODELO.

El diseño de esta estructura es totalmente simétrico, consta de dos muros de pared delgada dispuestos paralelamente y conectados entre sí a través de las losas macizas.

Se simuló la edificación tanto con losas tipo Membrana como con losas tipo Shell con la finalidad de estudiar la influencia de las mismas en los desplazamientos generados bajo acciones sísmicas. Se le aplicaron cargas en el centro de masa de cada piso para comprobar la estática generada y luego se le agregó cierta excentricidad para someter a torsión a las pantallas. Por último, se evaluó una estructura aporticada con las mismas dimensiones que el modelo para comparar las tensiones actuantes en muros y columnas.

En la figura 15 se presenta tanto de la vista en tres dimensiones como de la planta del modelo.

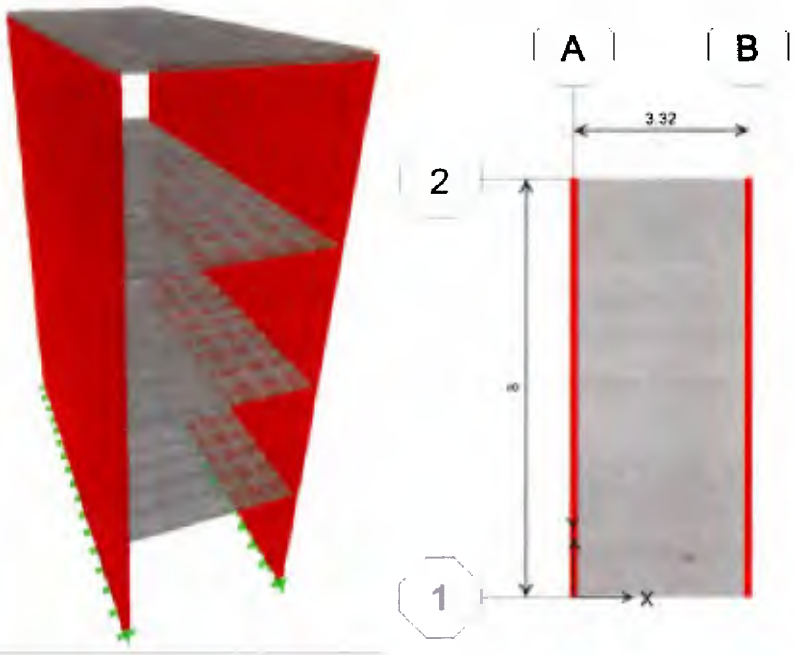

Figura 15. Vista en 3D y Planta del Edificio sin Pantalla Transversal

Para evaluar la influencia de las losas en los desplazamientos de la estructura se aplicaron las fuerzas principales por el lado más vulnerable de la misma, es decir, donde la rigidez de la edificación es menor. A continuación se presenta un esquema para

representar las cargas aplicadas, más adelante se especifica el procedimiento para determinar dichas cargas

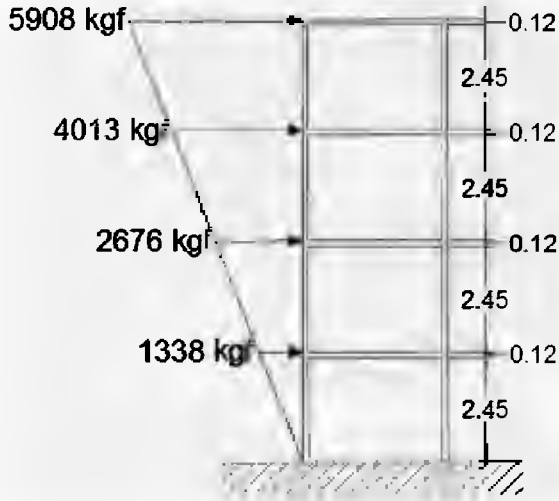

Figura 16. Esquema de fuerzas aplicadas para evaluar la influencia de la losa en el comportamiento de la estructura.

Se utilizaron variaciones de losas tipo Membrana o tipo Shell para luego buscar los valores de las derivas de piso obtenidas. Dado que las fuerzas son ortogonales al plano de los muros, se utilizaron pantallas del tipo Shell para que tuvieran capacidad resistente en dicho plano sabiendo que dicha capacidad es insignificante para otros cálculos.

Se esperaba encontrar diferencias importantes debido a la acción de la losa, cuando la misma es de tipo membrana, las pantallas se conectan entre sí pero esta no aporta ningún tipo de rigidez a la estructura, por otra parte la losa tipo shell soporta fuerzas fuera de su plano por lo que debe tener una relevancia importante en los desplazamientos de la edificación.

Se aplicaron las fuerzas sísmicas sin excentricidad en el sentido principal de las pantallas del modelo y se obtuvieron los momentos, fuerzas cortantes y distribuciones de tensiones generadas por el programa para luego confirmar esos resultados con fórmulas tradicionales. En este caso el tipo de pantallas fue membrana, de este modo se desprecia la resistencia de las mismas en su plano menos rígido.

La fórmula utilizada para calcular los esfuerzos cortantes máximos en el tope de las pantallas fue la siguiente:

$$\tau max = \frac{3.V}{2.L.t} \qquad \text{(III-3)}$$

Donde,

τmax: Esfuerzo cortante máximo.

V: Fuerza cortante

L: Longitud de la pantalla.
t: Espesor de la pantalla.

Con respecto a la distribución de esfuerzos por flexión, los máximos en el tope de las pantallas se calcularon con la formula a continuación:

$$\sigma max = \frac{M}{S}\ ; S = \frac{t.L^2}{12} \qquad \text{(III-4)}$$

Siendo,
σmax: Esfuerzo máximo por flexión.
M: Momento actuante en la pantalla.

La edificación se cargó con fuerzas sísmicas en ambos sentidos con 15% de excentricidad con la finalidad de estudiar el comportamiento de las pantallas a torsión. Se buscaba determinar la estática generada por las cargas y compararlas con los resultados del programa. En esta ocasión también se utilizaron pantallas tipo membrana y se despreció el aporte de las mismas fuera de su plano.

El siguiente esquema representa la distribución de fuerzas sísmicas en las pantallas del modelo cuando se les aplica una carga con excentricidad en su dirección principal.

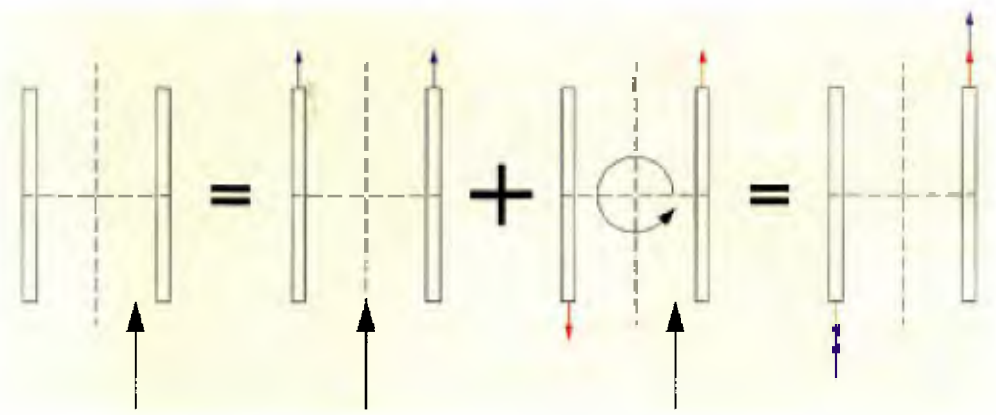

Figura 17. Esquema de distribución de fuerzas cortantes sobre la planta de la estructura.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA.

La tabla 1 presenta el dimensionamiento de los distintos elementos que conforman el edificio:

Tabla 1. Dimensiones del Primer Modelo.

Características	Medidas
Separación de Pantallas	3.32m
Longitud	8.00m
Nro. de Pisos	4
Altura de Pisos	2.57m

Altura Total	10.28m
Espesor de Muros	12cm
Espesor de Losa	12cm

ANÁLISIS ESTÁTICO EQUIVALENTE PARA EL MODELO.

Se decidió llevar a cabo un análisis estático a la estructura ya que el modelo utilizado se puede clasificar como regular debido a que no es posible incluirlo en alguno de los apartados de la sección 6.5.2 de la norma Covenin 1756 y la altura de la edificación no excede los treinta metros.

En la tabla 2 se muestran los parámetros con los que se elaboró el análisis sísmico.

Tabla 2. Parámetros establecidos para el análisis estático del modelo 1.

Parámetro	Artículo Covenin 1756:2001	Valor	Razón
Zona Sísmica	4.2	**5**	Edificio situado en el Distrito Capital, Venezuela.
Forma Espectral	5.1	**S2**	Suelo firme/medio denso con una velocidad promedio de las ondas de corte (Vsp) entre 170-250 m/s y H ≤ 50 m.
Factor de Corrección ϕ		**0.95**	
Grupo	6.1.1	**B2**	Correspondiente a edificaciones de uso público de baja ocupación
Factor de Importancia α	6.1.3	**1**	Correspondiente al Grupo B2
Nivel de Diseño	6.2.2	**ND3**	Correspondiente a la Zona Sísmica 5 y Grupo B2
Clasificación según el tipo de estructura	6.3	**Tipo III**	Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante muros de concreto armado
Factor de Reducción de Respuesta R	6.4	**4.5**	Correspondiente a ND3 y estructura tipo III
Coeficiente de Aceleración Horizontal Ao	4.2	**0.30**	Correspondiente a la Zona Sísmica 5 con Peligro Sísmico Elevado
Valor del Período T*	7.2 (Tabla 7.1)	**0.7**	Correspondiente a la Forma Espectral S2
Valor de Magnificación Promedio β		**2.6**	
Exponente de la Rama Descendente del Espectro, p		**1**	
Período característico de la variación de respuesta dúctil, T+	7.2 (Tabla 7.2)	**0.35**	Resultado de la fórmula dada cuando R < 5

Es importante destacar cuáles son los porcentajes del peso de la estructura que se deben tomar en cuenta para calcular las fuerzas sísmicas. La Norma Covenin 1756:2001 en su Sección 7.1 señala que debe considerarse para edificaciones de uso público la totalidad de la carga permanente y el veinticinco por ciento (25%) de la carga variable de servicio.

Además del peso propio de la estructura, se agregaron algunas cargas que corresponden con lo indicado en la Norma Covenin 2002-88 "Criterio de Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones". Las siguientes cargas fueron las tomadas en cuenta en el análisis:

- Peso propio de la estructura.
- Tabiquería Mínima: 50 kg/m².
- Carga variable de servicio: 175 kg/m².

Las cargas totales tanto permanente como variable se muestran a continuación. Con estos valores se calcularon las fuerzas sísmicas aplicadas a la estructura como lo indica la Norma Covenin 1756:2001.

- Carga Permanente: 83377 kg.
- Carga Variable: 18592 kg.

En la tabla 3 se presentan los cálculos y resultados para determinar el corte basal de la estructura.

Tabla 3. Corte Basal del primer modelo. Cálculos y Resultados.

Corte Basal Mínimo	
Vo= α.Ao.W/R	
A	1
Ao	0.3
CP + 0.25CV (kg)	88025
R	4.5
Vo min (kgf)	**5868**

Corte Basal de la Estructura	
Vo= μ.Ad.W	
CP + 0.25CV (kg)	88025
Ta (seg)	0.287
μ1	0.910
μ2	0.771
μfinal	0.910
Ad	0.174
Vo (kfg)	**13935**
Coef Ft	0.005
0.04<Coef Ft<0.10	NO
Vo>Vo min	SI
Ft (kgf)	557
W1 (kg/piso)	22006

Se puede verificar que el corte basal obtenido (13935 kgf) es mayor que el mínimo que es requerido por la norma (Vo= α.Ao.W/R) en la sección 7.1. Una vez obtenido este valor se pueden calcular las fuerzas sísmicas aplicadas a cada piso de la estructura siguiendo los lineamientos especificados en la norma Covenin 1756:2001 en la sección 9.3.3, las mismas se muestran en la tabla 4.

En el artículo 8.6 de la norma se estipula que: "las estructuras deberán diseñarse para la acción simultánea de las dos componentes sísmicas horizontales". En este sentido, se especifica que se deben combinar las solicitaciones debidas a sismo en una dirección con el treinta por ciento (30%) de las solicitaciones debidas a sismo en la dirección ortogonal, y viceversa.

En el caso del análisis de este modelo y de los siguientes, no se tomó en cuenta el treinta por ciento adicional ya que el objetivo de la simulación era evaluar la distribución de cortantes en la dirección principal de las pantallas y comprobar los gráficos de las tensiones cortantes y de flexión producidos en dicha dirección, no se pretendía realizar el diseño de la estructura sino estudiar el comportamiento de la estática en la misma.

Tabla 4. Distribución de Fuerzas Sísmicas y Momentos Torsores.

Piso:	Altura (m):	Wj*hj:	Fuerza Principal (Kgf):	T 0.15N (kg-m)	T 0.15B (kg-m)
4	10.28	226224	**5908**	**7090**	**2942**
3	7.71	169668	**4013**	**4816**	**1999**
2	5.14	113112	**2676**	**3211**	**1332**
1	2.57	56556	1338	**1605**	**666**
	∑Wj*hj:	565559	13935		

En la tabla 4.

- Piso: Nivel de la estructura.
- H: Altura medida desde la base de la edificación hasta el tope de cada piso.
- Wj*hj: Peso de cada nivel por su altura desde la base.
- Fuerza Principal: Solicitaciones aplicadas en la dirección de la estructura con mayor rigidez.
- T 0.15N: Torsión generada por la excentricidad de la carga en el sentido Y de la estructura.
- T 0.15B: Torsión generada por la excentricidad de la carga en el sentido X de la estructura.

Una vez realizado todo el procedimiento, se pueden aplicar las fuerzas y momentos calculados a la estructura para estudiar su comportamiento. Sin embargo, es necesario chequear en el programa de diseño que el corte basal calculado internamente coincida con el que se determinó a través de las fórmulas de la Norma.

ESTRUCTURA APORTICADA.

Se diseñó una estructura aporticada con las mismas dimensiones que el modelo, se asignaron secciones de vigas y columnas de tal manera que las cargas totales de

ambas edificaciones fueran muy similares para luego aplicar fuerzas sísmicas de la misma magnitud.

A continuación, en la figura 18, se presenta la edificación y su planta.

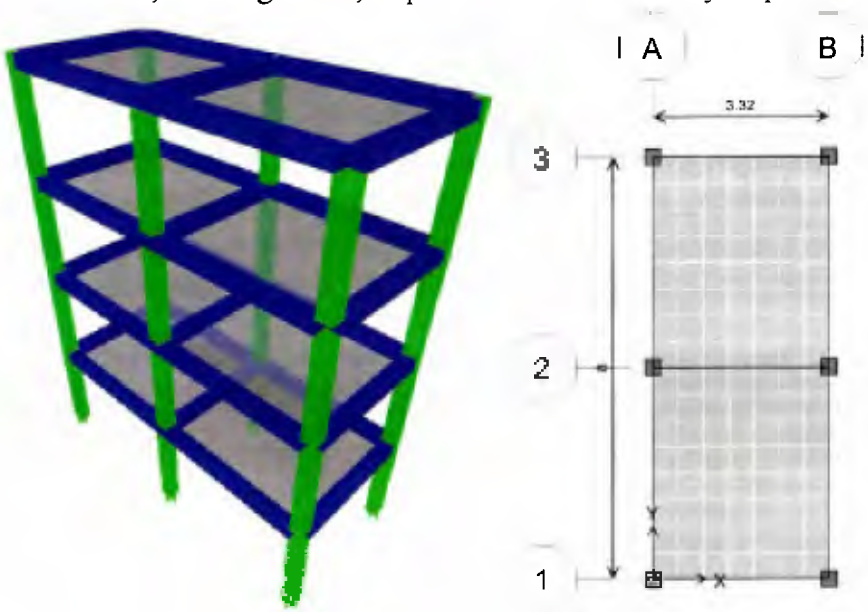

Figura 18. Vista en 3D de la Estructura Aporticada y Planta.

Las características de la estructura se especifican en la tabla 5.

Tabla 5. Características de la Estructura Aporticada.

Características	Medidas
Luz Corta	3.32m
Longitud	8.00m
Nro. de Pisos	4
Altura de Pisos	2.57m
Altura Total	10.28m
Sección de Col.	30x30cm
Sección de Vigas	30x30cm
Tipo de Losa	Shell
Espesor de Losa	12cm

En la tabla 6 se muestra la distribución de cargas que se tomó en cuenta en la evaluación de la estructura.

Tabla 6. Distribución de Cargas en la Estructura Aporticada.

	Proporción	Total (kgf)
Peso Propio	2500 kg/cm²	66421
Tabiquería	150 kg/cm²	15936
Carga Permanente	–	82357
Carga Variable	175 kg/cm²	18592
CP+0.25CV	–	87005

Seguidamente, en la tabla 7, se detallan las fuerzas sísmicas aplicadas a cada planta conseguidas a partir del análisis estático que se le realizó a la estructura considerando las mismas variables que para el modelo tipo túnel.

Tabla 7. Distribución de Fuerzas Sísmicas en la Estructura Aporticada y Corte Basal.

Distribución de Fuerzas Sísmicas			
Piso:	**Altura (m):**	**Wj*hj:**	**Fuerza (Kgf):**
4	10.28	223605	**5840**
3	7.71	167703	**3967**
2	5.14	111802	**2645**
1	2.57	55901	**1322**
	∑Wj*hj:	559011	13774

III.2.2 SEGUNDO MODELO.

Este modelo es una simple variación del primero al cual se le añadió una pantalla transversal a las dos anteriores para reforzar la dirección más débil de la estructura. Se busca estudiar la influencia de esta nueva pantalla en la estructura. Se aplicaron fuerzas que produjeran traslación pura de la planta y fuerzas excéntricas que aplicaran torsión a las pantallas para evaluar la repartición de las cargas y verificar los resultados del programa con los realizados manualmente.

La figura 19 muestra tanto la vista en tres dimensiones como la planta del modelo.

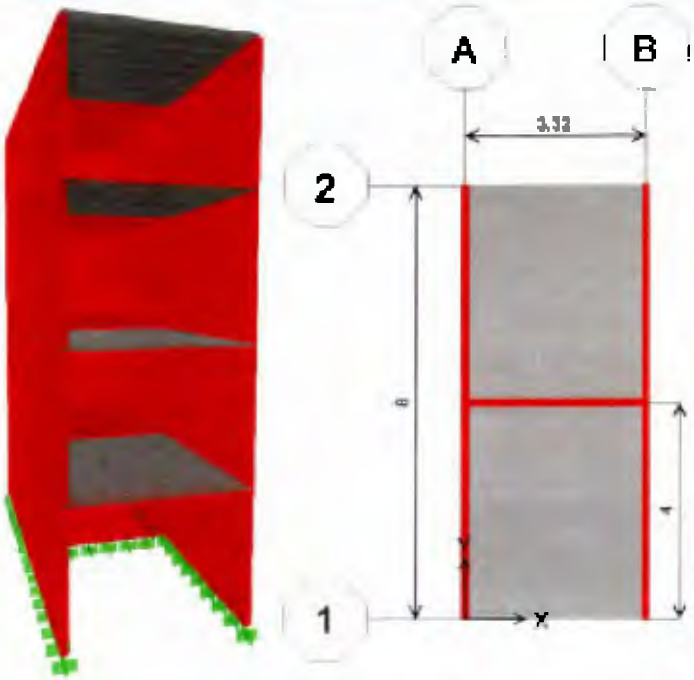

Figura 19. Vista en 3D y Planta de la Estructura con Pantalla Trasversal

En este caso las pantallas se simularon como elementos tipo membrana, así se despreció el aporte que tienen las mismas fuera de su plano. En el esquema siguiente se muestra la distribución de las fuerzas laterales esperada en la estructura.

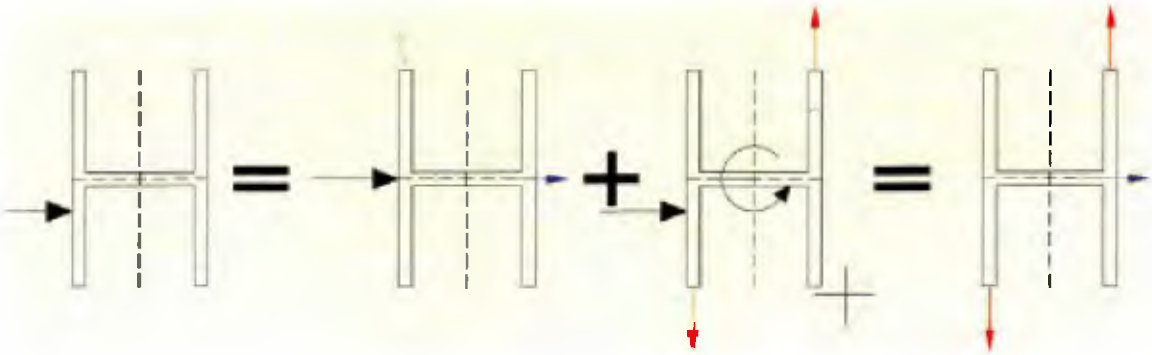

Figura 20. Esquema de distribución de fuerzas en el segundo modelo estudiado.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA.

En la tabla 8 el dimensionamiento de los distintos elementos que conforman el edificio:

Tabla 8. Dimensiones del Segundo Modelo.

Características	Medidas
Separación de Pantallas	3.32m
Longitud	8.00m
Nro. de Pisos	4

Características	Medidas
Altura de Pisos	2.57m
Altura Total	10.28m
Espesor de Muros	15cm
Espesor de Losa	15cm
Tipo de Losa	Shell

ANÁLISIS ESTÁTICO EQUIVALENTE.

Con respecto al análisis sísmico de la estructura, se llevó a cabo el mismo procedimiento que en el modelo anterior. Sin embargo, al agregar una pantalla adicional, la carga permanente de la estructura varía por lo que las fuerzas sísmicas serán distintas.

A continuación, en las tablas 9 y 10, se presentan las cargas aplicadas a la estructura, la distribución de fuerzas sísmicas sobre cada piso de la edificación, así como también el corte basal total.

Tabla 9. Distribución de Cargas en el Segundo Modelo.

	Proporción	Total (kgf)
Peso Propio	2400 kg/cm³	87797
Tabiquería	50 kg/cm²	5293
Carga Permanente	–	93090
Carga Variable	175 kg/cm²	18526
CP+0.25CV	–	97722

Tabla 10. Fuerzas y Momentos Torsores aplicados a la Estructura.

DISTRIBUCIÓN DEL CORTE BASAL					
Piso:	**Altura (m):**	**Wj*hj:**	**Fuerza (Kgf):**	**T 0.15N (kg-m)**	**T 0.15B (kg-m)**
4	10.28	251144	6559	7871	3267
3	7.71	188358	4455	5346	2219
2	5.14	125572	2970	3564	1479
1	2.57	62786	1485	1782	740
	ΣWj*hj:	627861	15470		

III.2.3 TERCER MODELO.

En este modelo se utilizaron pantallas de distintas dimensiones con la finalidad de evaluar la repartición de las cargas aplicadas, dichas cargas fueron ejercidas en el centro de rigidez de las plantas de manera que no se produjera torsión. Posteriormente se agregaron ciertas aberturas a los elementos verticales para evaluar el comportamiento de la estructura con dinteles.

En la figura 21 se presenta la vista del modelo y la planta del mismo.

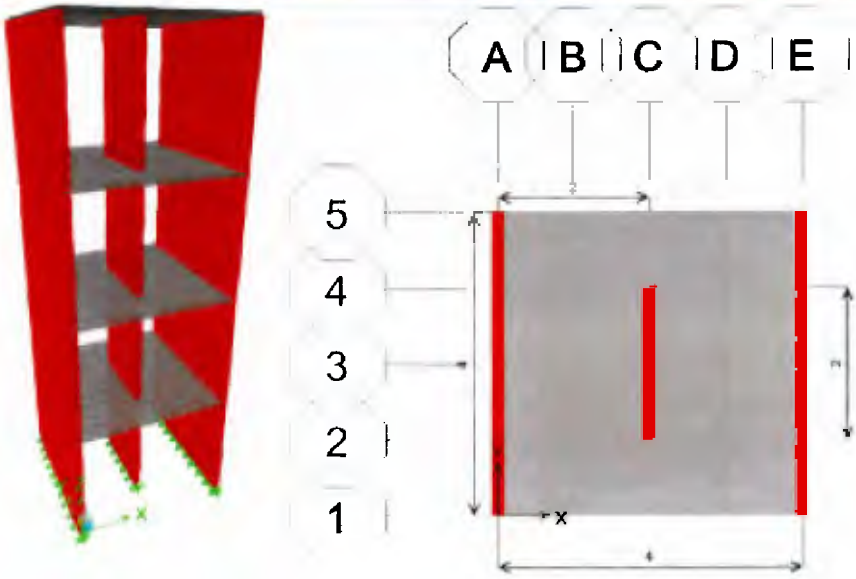

Figura 21. Vista en 3D y planta del tercer modelo.

La figura 22 muestra las cargas aplicadas sobre cada planta en el sentido principal de las pantallas con las que se quiso representar la acción sísmica sobre el modelo. En este caso no se realizó un análisis sísmico debido a que el objetivo del modelo fue estudiar la distribución de fuerzas sobre las pantallas.

Figura 22. Representación de las cargas aplicadas al tercer modelo. Unidades: Kgf.

Las fuerzas sísmicas son distribuidas proporcionalmente según la rigidez de los elementos de la estructura, en este sentido se buscaron los desplazamientos por flexión y corte producidos por las cargas para luego calcular el inverso de los mismos y determinar la rigidez de cada una de las pantallas.

Las fórmulas utilizadas para conseguir los valores de desplazamientos por flexión y corte fueron las siguientes:

$$\Delta = \Delta_f + \Delta_c \qquad \text{(III-5)}$$

$$\Delta = \frac{P.h^3}{3.E.I_i} + \frac{3.P.h}{2.G.A_i} \qquad \text{(III-6)}$$

Donde,

Δ: Desplazamiento total (cm).

Δf: Desplazamientos por flexión (cm).

Δc: Desplazamientos por corte (cm).

P: Carga sobre la planta (kgf).

h: Altura del muro (cm).

E: Modulo de elasticidad del material (kgf/cm^2)

I: Inercia de la sección de la pantalla en la dirección de la carga (cm^4).

G: Módulo de rigidez. (0.4E).

Paulay y Priestley (1992) escriben que para muros con relación de esbeltez (h/l) mayores a cuatro, las deformaciones por corte pueden despreciarse. En estos casos, la distribución de cargas se hace de acuerdo a la inercia de los elementos ya que el resto de los parámetros que intervienen en la fórmula son constantes para todas las pantallas. En este sentido presentan las fórmulas siguientes:

$$F_i = \frac{I_i}{\sum I_i} F \qquad \text{(III-7)}$$

$$V_i = \frac{I_i}{\sum I_i} V \qquad \text{(IIII-8)}$$

$$M_i = \frac{I_i}{\sum I_i} M \qquad \text{(III-9)}$$

Una vez calculadas las fuerzas tomadas por cada pantalla según las fórmulas presentadas, se compararon los resultados con los obtenidos a través del programa de diseño para verificar las coincidencias entre los valores.

Para estudiar el comportamiento de la estructura con dinteles se agregaron aberturas en el medio de las pantallas externas del modelo y se estudiaron dos casos. En el primero se utilizó losa tipo membrana y no se unieron los muros con dinteles, de esta manera los elementos permanecieron separados entre sí y no existió ninguna conexión entre ellos. En el segundo caso la losa fue tipo shell y se colocaron los dinteles, así se hizo más rígido el modelo con respecto al primer caso y las pantallas estaban conectadas entre ellas.

La figura 23 muestra el esquema del modelo con aberturas en los muros y dinteles entre ellos.

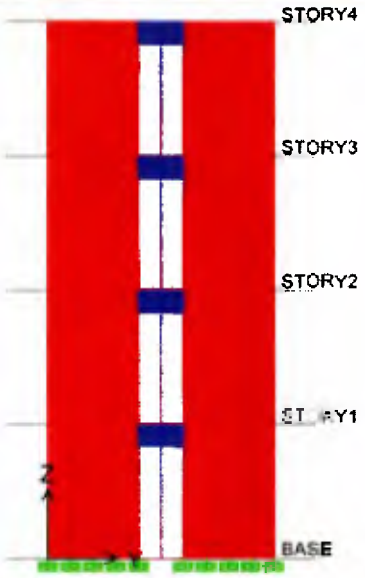

Figura 23. Pantalla con dinteles.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA.

En la tabla 11 se presentan las dimensiones de los elementos que constituyen la estructura.

Tabla 11. Dimensiones del tercer modelo.

Características	Medidas
Largo de Planta	4m
Ancho de Planta	4m
Nro. de Pisos	4
Altura de Pisos	3m
Altura Total	12m
Espesor de Muros	15cm
Pantalla Central	2m
Dinteles	40x15x80cm
Resistencia del Concreto	280 kg/cm^2

III.2.4 CUARTO MODELO.

Este último modelo corresponde a un diseño representativo para una estructura tipo túnel, el comportamiento de éste puede representar, en general, a la mayor parte de los edificios realizados con este sistema constructivo.

La finalidad del análisis de esta estructura es extrapolar los resultados obtenidos en los puntos anteriores para diseños sencillos a una planta real, de esta forma, se estudiara el aporte de la losa en la rigidez de la estructura, la distribución de cargas

sísmicas en las pantallas, la importancia de las pantallas transversales, así como también la determinación de los momentos flectores producidos en la planta de la estructura.

En las figuras 24 y 25 se muestran el diseño de la planta del edificio y su vista espacial.

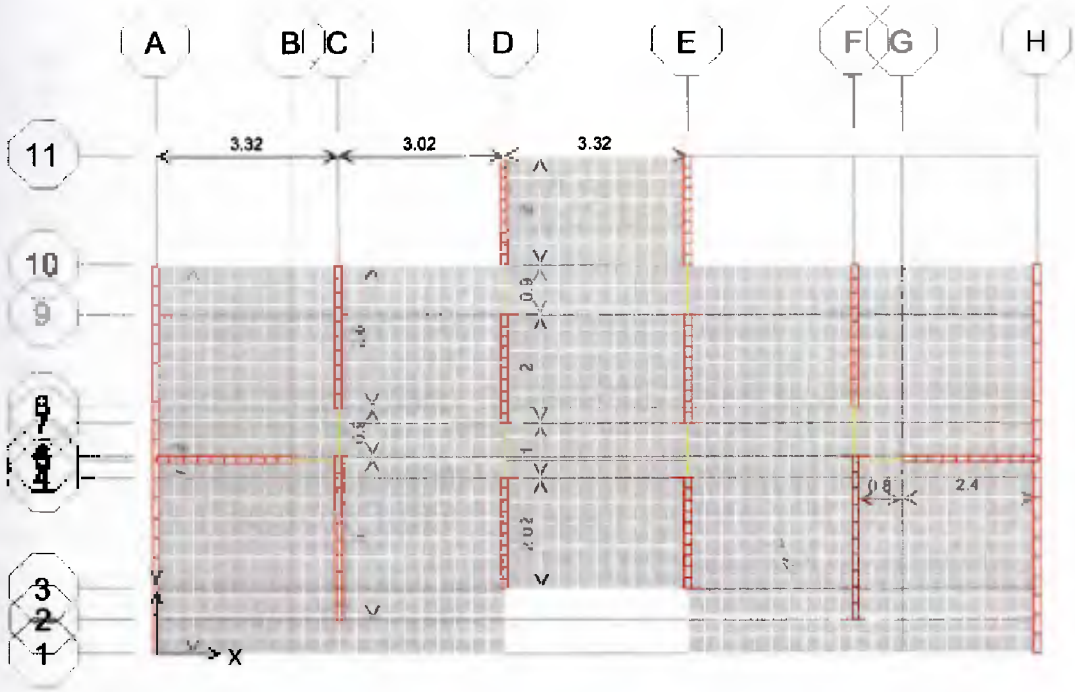

Figura 24. Planta del cuarto modelo. Unidades en m

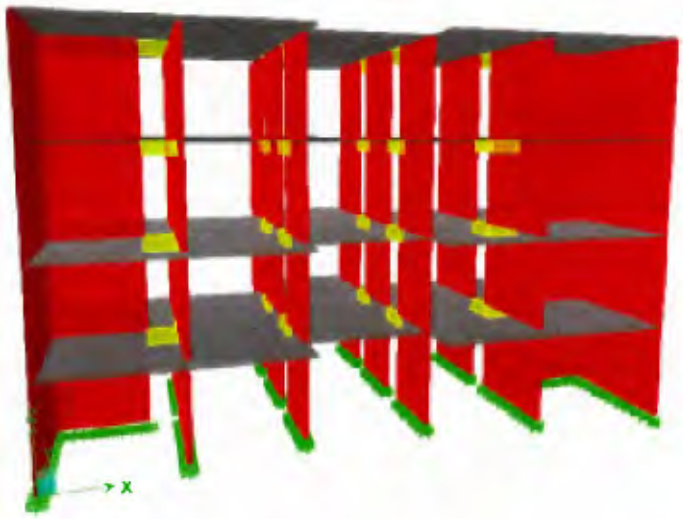

Figura 25. Vista espacial de la estructura

En primer lugar se realizó la distribución de fuerzas sísmicas aplicadas en dirección global Y utilizando las fórmulas III-5 y III-6. Se calcularon los desplazamientos tanto por corte como por flexión producidos por las cargas y la rigidez se halló como el inverso de la suma de los desplazamientos.

Para determinar la importancia de los desplazamientos por corte y flexión en el total se calculó el porcentaje de influencia de cada uno para verificar cuándo se pueden despreciar y cuándo deben tomarse en cuenta de acuerdo a la relación de esbeltez de los muros.

Posteriormente se determinó la distribución proporcional de la carga en cada pantalla de acuerdo a la rigidez de las mismas. Estos resultados fueron comparados con dos casos estudiados en el programa de diseño, al primero se le asignó una losa tipo membrana la cual no actúa fuera de su plano por lo que los muros no tenían ninguna integración y actuaban como elementos individuales. El segundo caso fue simulado con losa tipo shell y dinteles en las aberturas para que conectaran las pantallas entre sí y aportaran rigidez al sistema.

El siguiente análisis se realizó aplicando las cargas sísmicas en la dirección global X. En esta oportunidad las pantallas principales son las que tienen su mayor longitud en dicha dirección. Se siguió el mismo procedimiento explicado para calcular la distribución de cargas en las pantallas a través de fórmulas tradicionales para luego comparar los resultados con los mismos dos casos anteriores.

A continuación se agregó un momento torsor a los casos estudiados para determinar la repartición del mismo en las pantallas del modelo. Específicamente se cargó la estructura con fuerzas en la dirección Y y un momento torsor generado por fuerzas con una excentricidad de quince por ciento (15%) en el sentido más largo de la estructura.

Las fuerzas que toma cada pantalla debidas al momento torsor también son función de la rigidez de los elementos y de su distancia al centro de rigidez de la planta por lo que la fórmula aplicada para encontrar estos valores es la siguiente.

$$F_{ti} = M_i \frac{R_i . x_i}{\sum Ri_i . x_i^2} \qquad \text{(III-10)}$$

Siendo,
Fti: Fuera tomada por cada pantalla (kgf)
Ri: Rigidez del elemento (kgf/m)
xi: Distancia del elemento al centro de rigidez de la planta (m)
Mi: Momento torsor. (kgf-m)

Por otra parte, Paulay y Priestley (1992) proponen las siguientes fórmulas para determinar las fuerzas cortantes tomadas por las pantallas cuando es aplicado un

momento torsor. En este caso se hace la distribución por inercia y se desprecia la componente del corte en la rigidez de los elementos.

$$V_{ix} = \frac{I_{iy}}{\sum I_{iy}} V_x + \frac{(V_x e_y - V_y e_x) y_i I_{iy}}{\sum (x_i^2 I_{ix} + y_i^2 I_{iy})} \qquad \text{(III-11)}$$

$$V_{iy} = \frac{I_{ix}}{\sum I_{ix}} V_y + \frac{(V_x e_y - V_y e_x) x_i I_{ix}}{\sum (x_i^2 I_{ix} + y_i^2 I_{iy})} \qquad \text{(III-12)}$$

Donde,

(Vx.ey – Vy.ex) es el momento torsor aplicado en el CR de la planta.

$\Sigma(xi^2.Iix + yi^2.Iiy)$ es la rigidez rotacional de los elementos

ex, ey son excentricidades medidas desde el CR de la planta.

Una vez calculados los valores a través de las fórmulas, se compararon con los resultados arrojados por el programa para confirmar que se mantengan los órdenes de magnitud.

Por último se trabajó con la flexión en las pantallas, la cual se calculó a partir de las fuerzas cortantes tomadas en cada pantalla multiplicada por la altura de piso de la estructura. Los valores de flexión resultantes de este procedimiento deben ser inferiores a los soportados por las pantallas, para eso se presenta y explica la fórmula utilizada por Cárdenas y Magura (1973).

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA.

En la tabla 12 se especifican las distintas dimensiones de los elementos que constituyen el modelo.

Tabla 12. Dimensiones del cuarto modelo.

Características	Medidas
Separación de Pantallas	3.02 a 3.32m
Longitud	Variable
Nro. de Pisos	4
Altura de Pisos	2.57m
Altura Total	10.28m
Espesor de Muros	12cm
Espesor de Losa	12cm
Tipo de Losa	Variable
Dinteles	40x15xVariable (cm)
Resistencia del Concreto	250 kg/cm²

ANÁLISIS ESTÁTICO EQUIVALENTE.

Siguiendo el mismo procedimiento explicado en la sección III.2.1, se calcularon las fuerzas de diseño debidas a los efectos traslacionales. A continuación se presentan en la tabla 13 las cargas gravitacionales aplicadas a la estructura así como también la relación entre el área de las pantallas con respecto al área de planta.

Tabla 13. Estimación de cargas gravitacionales aplicadas a la edificación

Cargas Gravitacionales

Techo	Valores (kg/m²)
PP Losa 0.12cm	290
Imperm.	80
Friso	30
Carga Variable	100
CP+0.25CV	425

Planta Tipo	Valores (kg/m²)
PP Losa 0.12cm	290
Pavimento	60
Friso	30
Tabiquería mínima	50
Carga Variable	180
CP+0.25CV	475

Cargas Totales	
Carga Permanente (kg)	325314
Carga Variable (kg)	74609
CP+0.25CV	343966

Tabla 14. Relación entre el área transversal de las pantallas y el área total de planta.

Relación de Áreas	
Área Planta (m²)	117.81
Área Pantallas (m²)	5.07
ρ	4.3%

Por último se presentan, en la tabla 15, las fuerzas de diseño aplicadas sobre los pisos de la estructura, los momentos torsores producidos por la excentricidad de la fuerza, así como también el corte basal generado al pie de las pantallas.

Tabla 15. Resultados del análisis estático equivalente realizado al cuarto modelo.

DISTRIBUCIÓN DEL CORTE BASAL				
Piso:	Altura (m):	Wj*hj:	Fuerza (Kgf):	T 0.15N (kg-m)
4	10.28	883993	23088	55411
3	7.71	662995	15682	37637
2	5.14	441997	10455	25092
1	2.57	220998	5227	12546
	∑Wj*hj:	2209983	54452	

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

IV.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PRIMER MODELO.

En esta sección se presentan los resultados y análisis de los estudios realizados al primer modelo. Se comprobó la influencia de la losa en el desplazamiento de las edificaciones y la distribución de tensiones y fuerzas en las pantallas de las mismas.

IV.1.1 APORTE DE LA LOSA EN EL COMPORTAMIENTO.

Los esquemas de la figura 26 representan los desplazamientos para cada tipo de losa.

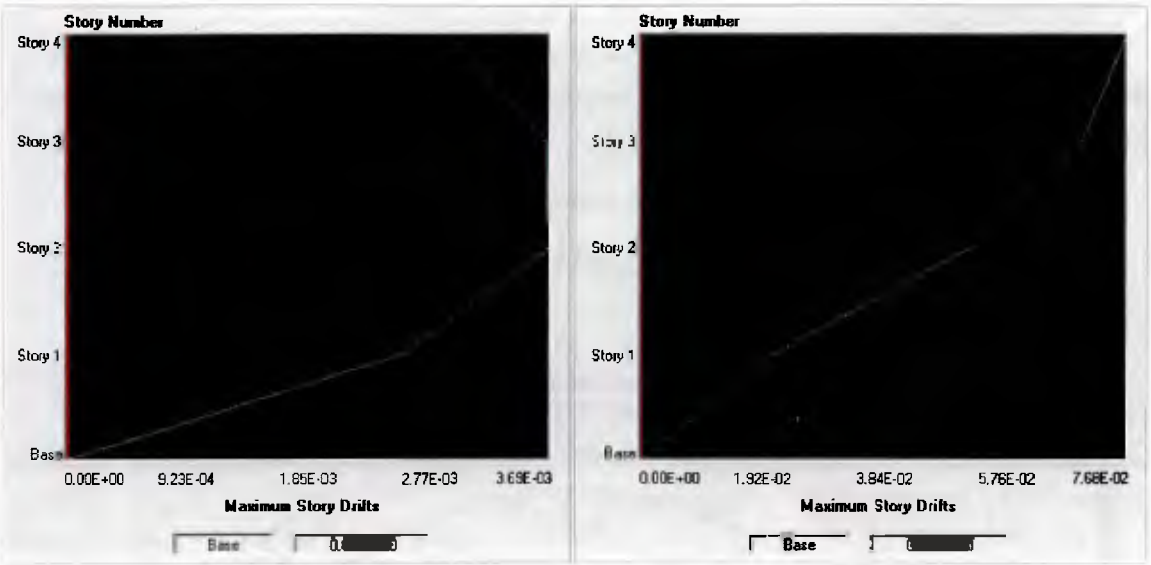

Figura 26. Esquemas que representan las derivas de la estructura con cada tipo de losa. (Shell a la Izquierda, Membrana a la Derecha).

La tabla 16 muestra los resultados de las derivas en cada piso y la diferencia porcentual entre ellos.

Tabla 16. Resultados de Derivas en la Estructura.

Valores de derivas por tipo de losas.				
Story	**Load**	**Membrana**	**Shell**	**% Diferencia**
Story4	Sismox	0.076829	0.000022	99.97%
Story3	Sismox	0.069647	0.000022	99.97%
Story2	Sismox	0.051875	0.000019	99.96%
Story1	Sismox	0.02059	0.000012	99.94%

Los resultados reflejados en la tabla 16 indican que las derivas producidas por las fuerzas en el sentido menos rígido de la estructura con losa tipo membrana se reducen casi en cien por ciento al tomar en cuenta la acción de la losa en la estructura. Esto significa que el comportamiento rígido de las estructuras tipo túnel no sólo viene dado por las características de las pantallas, la naturaleza de las losas también disminuyen la

flexibilidad por lo que en el diseño sísmico de las edificaciones se debe tomar en cuenta el aporte que éstas ofrecen.

También es importante apreciar la forma tomada por los gráficos de las derivas, cuando la estructura es simulada con losas tipo membrana, la mayor deriva se produce en el piso superior mientras que cuando se analiza el modelo con losas tipo shell los desplazamientos de entrepiso son mayores en las plantas intermedias. Esto es debido a las restricciones que aporta la losa en los desplazamientos de la estructura.

IV.1.2 COMPORTAMIENTO DE LAS PANTALLAS BAJO CARGAS CÉNTRICAS

Los siguientes gráficos representan las distribuciones de esfuerzos cortantes y de flexión en las pantallas de cada piso de la estructura resueltas por ETABS y se indican los máximos valores conseguidos.

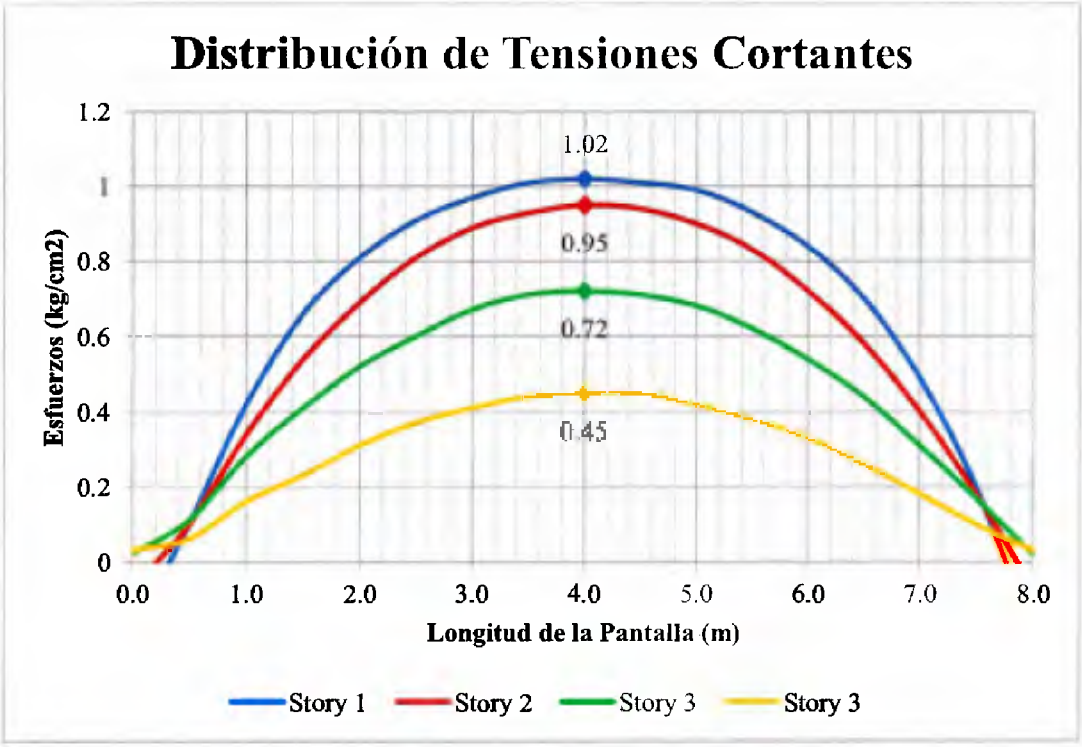

Gráfico 1. Distribución de Esfuerzos Cortantes en cada piso de la Estructura.

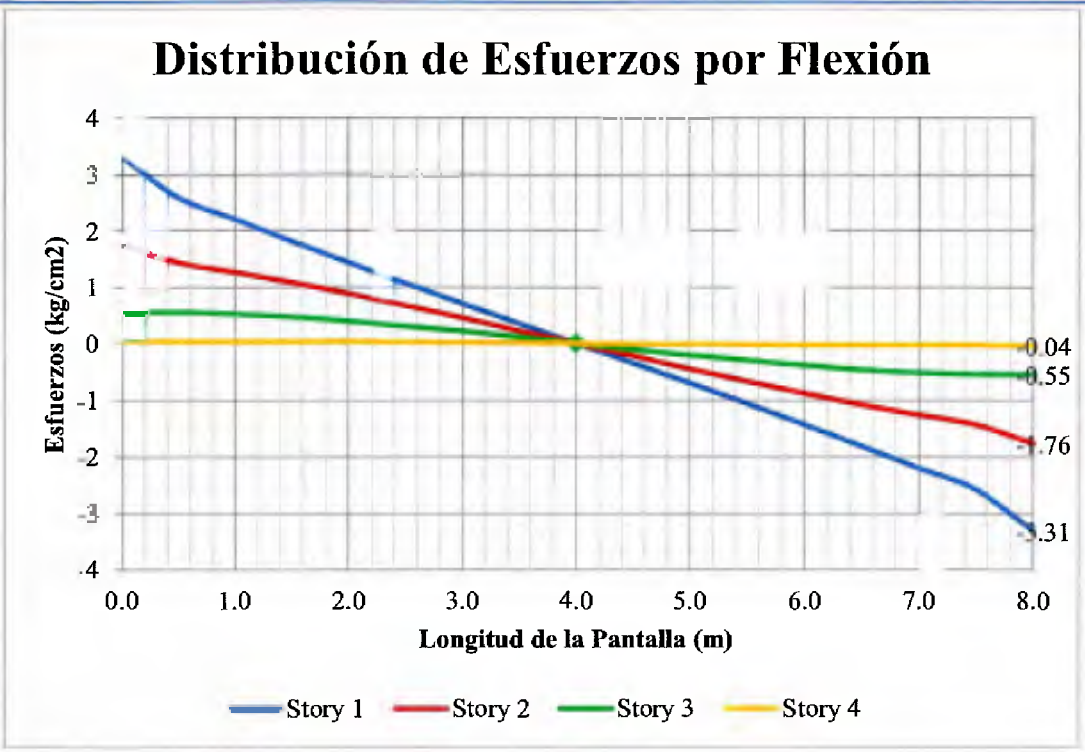

Gráfico 2. Distribución de Esfuerzos por Flexión en cada piso de la Estructura.

Los gráficos 1 y 2 cumplen con la forma de distribución esperada. Las tensiones cortantes se acumulan hasta el centro del tramo donde se genera el esfuerzo máximo, mientras que los esfuerzos a flexión superiores se forman en los extremos de los muros donde el brazo de la fuerza es mayor.

Se puede observar que las tensiones máximas generadas en las pantallas son bastante pequeñas, esto es debido a la gran cantidad de área actuante para soportar las cargas sísmicas. Podemos inducir que es necesario aplicar grandes fuerzas para que la estructura falle por flexión o cortante. En la sección IV.1.4, se demuestra la diferencia entre las tensiones máximas generadas en las pantallas y las tensiones en columnas en una estructura aporticada similar a este modelo.

La tabla 17 muestra los resultados de las fuerzas cortantes y momentos actuantes sobre la estructura, así como también los valores máximos de las tensiones calculados con fórmulas tradicionales. Dichas fórmulas son explicadas en el marco metodológico de este trabajo.

Tabla 17. **Distribuciones de Cortes,** Momentos y Tensiones calculadas con fórmulas tradicionales.

Story	Fuerza Principal (FY)	Fuerza por Pantalla	Corte por Pantalla	Momento por Pantalla	Tensión Cortante Máxima	Esfuerzo Flexión Máximo	Diferencias Cortante	Diferencias Flexión
STORY4	**5908**	2954	2954	0	0.46	0.00	-2.51%	0.0%
STORY4	**5908**	2954	2954	7592	0.46	0.59	-2.51%	-7.3%
STORY3	**4013**	2007	4961	7592	0.78	0.59	-7.11%	-7.3%
STORY3	**4013**	2007	4961	20340	0.78	1.59	-7.11%	10.8%
STORY2	**2676**	1338	6299	20340	0.98	1.59	-3.47%	10.8%
STORY2	**2676**	1338	6299	36527	0.98	2.85	-3.47%	16.0%
STORY1	**1338**	669	6967	36527	1.09	2.85	-6.31%	16.0%
STORY1	**1338**	669	6967	54434	1.09	4.25	-6.31%	-

Se puede verificar que los esfuerzos calculados con fórmulas de resistencia de materiales son similares a los generados por el programa de diseño. Es posible que las diferencias existentes se hayan dado por los métodos de cálculos donde el programa analiza por elementos finitos y las fórmulas utilizadas son una aproximación a las tensiones producidas.

IV.1.3 COMPORTAMIENTO DE LAS PANTALLAS BAJO CARGAS CON EXCENTRICIDAD.

En las tablas 18 y 19 se muestran los resultados y las diferencias porcentuales entre los mismos al aplicar fuerzas los dos sentidos principales de la estructura con excentricidad de quince por ciento.

Tabla 18. Fuerzas y Momentos generados por Etabs y calculados manualmente. Cargas aplicadas en el sentido Y.

Fuerzas Cortantes (Kg,m). Calculadas por ETABS			
Story	Pier	Load	V2
STORY4	P1	SISMOY	2068
STORY3	P1	SISMOY	3472
STORY2	P1	SISMOY	4409
STORY1	P1	SISMOY	4877

Fuerzas Cortantes (Kg,m). Calculadas por Estática					
Fuerza Principal (FY)	FY c/pantalla	Torsión	Fuerza por Torsión	V2 Resultante	Diferencias V2
5908	2954	**2942**	886	2068	0.01%
4013	2007	**1999**	602	3465	0.22%
2676	1338	**1332**	401	4396	0.30%
1338	669	**666**	201	4861	0.33%

Fuerzas Cortantes (Kg,m). Calculadas por ETABS			
Story	Pier	Load	V2
STORY4	P2	SISMOY	3840
STORY3	P2	SISMOY	6449
STORY2	P2	SISMOY	8188
STORY1	P2	SISMOY	9058

Fuerzas Cortantes (Kg,m). Calculados por Estática					
Fuerza Principal (FY)	FY c/pantalla	Torsión	Fuerza por Torsión	V2 Resultante	Diferencias V2
5908	2954	**2942**	886	3840	0.01%
4013	2007	**1999**	602	6441	0.12%
2676	1338	**1332**	401	8175	0.16%
1338	669	**666**	201	9042	0.18%

Tabla 19. Fuerzas y Momentos generados por Etabs y Calculados manualmente. Cargas aplicadas en el sentido X.

Fuerzas Cortantes(Kg,m). Calculados por ETABS				
Story	Pier	Load	V2	V3
STORY4	P1	SISMOX	-2124	-2939
STORY3	P1	SISMOX	-3563	-4928
STORY2	P1	SISMOX	-4522	-6256
STORY1	P1	SISMOX	-5000	-6918

Fuerzas y Momentos (Kg,m). Calculados por Estática					
Fuerza Principal (FX)	FX c/pantalla	Torsión	Fuerza por Torsión	V3 Resultante	V2 Resultante
5908	2954	**7090**	2136	2954	2136
4013	2007	**4816**	1451	4961	3586
2676	1338	**3211**	967	6299	4553
1338	669	**1605**	484	6967	5037

Diferencia V3	Diferencia V2
0.53%	0.54%
0.67%	0.65%
0.68%	0.69%
0.70%	0.72%

Fuerzas Cortantes(Kg,m). Calculados por ETABS				
Story	Pier	Load	V2	V3
STORY4	P2	SISMOX	[illegible]4	-2939
STORY3	P2	SISMOX	3563	-4928
STORY2	P2	SISMOX	4522	-6256
STORY1	P2	SISMOX	5001	-6918

Fuerzas y Momentos (Kg,m). Calculados por Estática					
Fuerza Principal (FX)	FX c/pantalla	Torsión	Fuerza por Torsión	V3 Resultante	V2 Resultante
5908	2954	**7090**	2136	2954	2136
4013	2007	**4816**	1451	4961	3586
2676	1338	**3211**	967	6299	4553
1338	669	**1605**	484	6967	[illegible]

Diferencia V3	Diferencia V2
0.53%	0.53%
0.67%	0.64%
0.68%	0.68%
0.70%	0.72%

Según los resultados de las tablas 18 y 19, se muestra la coincidencia entre los valores encontrados tanto por ETABS como manualmente y la correcta distribución de las fuerzas en las pantallas. Las distribuciones de fuerzas en las pantallas corresponden a lo nombrado en el marco metodológico de este trabajo.

Cuando se aplica una fuerza excéntrica sobre la estructura se está sometiendo a la misma a una carga en su centro de rigidez y a un momento torsor. La carga se divide equitativamente como se explicó en la sección IV.1.2 mientras que el momento es repartido como un par de fuerzas con sentidos contrarios sobre las pantallas.

En la tabla 18 se muestra la distribución de fuerzas cuando la carga sísmica es aplicada en el sentido principal de las pantallas. Dichas cargas ejercidas en el centro de rigidez se dividen y las fuerzas por torsión se suman o se restan según sea su dirección. De igual manera ocurre cuando las cargas sísmicas son en el sentido menos rígido de la estructura, la fuerza céntrica se divide pero las fuerzas por torsión actúan en el plano de las pantallas por lo que no se suman o se restan como se muestra en la tabla 19.

IV.1.4 ESTRUCTURA APORTICADA.

A continuación se exponen en el gráfico 3. Los resultados de las tensiones que experimentan las columnas de la estructura con la finalidad de compararlas con los esfuerzos cortantes máximos que actúan sobre los muros de pared delgada en las estructuras tipo túnel.

Gráfico 3. Distribución de Esfuerzos Cortantes en las Columnas de la Estructura Aporticada.

Se pudo confirmar que los esfuerzos cortantes en las columnas son muy superiores a las tensiones en los muros de pared delgada generadas por las mismas fuerzas sísmicas, esto se debe a la gran cantidad de área actuante en las pantallas. Como se dijo en el marco teórico, el área de las pantallas en la planta de la estructura es aproximadamente tres a cuatro veces el área que representan las columnas en la planta por lo que la capacidad resistente en los edificios tipo túnel es muy superior a la de una estructura aporticada.

Esto refleja una de las virtudes de las estructuras tipo túnel donde los esfuerzos en las pantallas son pequeños por lo que se pueden tener un comportamiento elástico ante las acciones sísmicas, a diferencia de las estructuras aporticadas donde existe una mayor vulnerabilidad.

IV.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SEGUNDO MODELO.

En esta sección se analiza la influencia de la pantalla transversal a las dos paralelas y la repartición de las cargas sísmicas sobre la estructura.

IV.2.1 COMPORTAMIENTO DE LAS PANTALLAS BAJO CARGAS CÉNTRICAS.

Se aplicaron las fuerzas sísmicas en el centro de masa de cada planta de la estructura de tal manera que se experimentaran desplazamientos en los planos principales de las pantallas. Se quería verificar el porcentaje de carga tomada por cada muro dependiendo de la dirección de la fuerza. En la tabla 20 y 21 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 20. Repartición de la fuerza cortante en dirección Y por cada pantalla.

	Fuerza Aplicada	Corte aplicado por piso (kgf)	Corte tomado por Pantalla			% Corte tomado por Pantalla		
			P1 (kgf)	P2 (kgf)	P3 (kgf)	%P1	%P2	%P3
Story4	SISMOY	6559	3261	3261	38	49.71%	49.71%	0.58%
Story3	SISMOY	11014	5476	5476	61	49.72%	49.72%	0.56%
Story2	SISMOY	13984	6954	6954	77	49.73%	49.73%	0.55%
Story1	SISMOY	15469	7685	7685	99	49.68%	49.68%	0.64%
				15469				

Tabla 21. Repartición de la fuerza cortante en dirección X por cada pantalla.

	Fuerza Aplicada	Corte aplicado por piso (kgf)	Corte tomado por Pantalla			% Corte tomado por Pantalla		
			P1 (kgf)	P2 (kgf)	P3 (kgf)	%P1	%P2	%P3
Story4	SISMOX	6559	113	113	6332	1.73%	1.73%	96.54%
Story3	SISMOX	11014	195	195	10625	1.77%	1.77%	96.47%
Story2	SISMOX	13984	236	236	13511	1.69%	1.69%	96.62%
Story1	SISMOX	15469	408	408	14653	2.64%	2.64%	94.72%
				15469				

En las tablas mostradas, P1 y P2 son las pantallas paralelas dispuestas en la dirección global Y, mientras que P3 es la pantalla transversal a las anteriores dispuesta en la dirección global X

Es importante destacar que para conocer la distribución de fuerzas en la estructura se utilizaron elementos tipo shell para que se tomara en cuenta la capacidad de cada pantalla en su sentido menos rígido, esto se realizó para tener una aproximación más precisa a la realidad y verificar la influencia verdadera de las pantallas en su sentido más débil.

En los porcentajes mostrados en las tablas 20 y 21 se puede observar los muros de pared delgada en su dirección menos rígida aportan una mínima resistencia a las solicitaciones de fuerzas laterales y que la pantalla transversal absorbe la mayor parte de las fuerzas sísmicas en su sentido principal. Este resultado demuestra la importancia de tener presencia de pantallas en ambos sentidos en el diseño arquitectónico de la estructura.

IV.2.2 COMPORTAMIENTO DE LAS PANTALLAS BAJO CARGAS EXCÉNTRICAS.

Por los resultados anteriores se puede conocer que la influencia de la pantalla transversal es mínima cuando las fuerzas laterales son dispuestas perpendicular a su plano por lo que sólo se aplicaron cargas con dirección global X para estudiar el comportamiento de la estructura, de aplicar cargas en la otra dirección, la distribución sería muy similar a la explicada la sección IV.1.3.

La tabla 22 representa los cálculos y resultados de la distribución de fuerzas laterales en las tres pantallas del modelo.

Tabla 22. Distribución de fuerzas sísmicas en las pantallas del segundo modelo.

Distribución de Fuerzas Sísmicas calculadas manualmente				
Fuerza Principal, FX (kgf)	**Torsión (kg-m)**	**Fuerza por Torsión (kgf)**	**Corte en Pantalla Transv Resultante (kgf)**	**Corte en Pantallas Paralelas Resultante (kgf)**
6559	7871	2371	6559	2371
6559	7871	2371	6559	2371
4455	5346	1610	11015	3981
4455	5346	1610	11015	3981
2970	3564	1074	13985	5055
2970	3564	1074	13985	5055
1485	1782	537	15470	5592
1485	1782	537	15470	5592

Distribución de Fuerzas Sísmicas según ETABS				
Piso de la Estructura	Fuerza Aplicada	Fuerzas Cortantes en cada Pantalla		
		P1	P2	P3
STORY4	SISMOX	-2371	2371	6559
STORY4	SISMOX	-2371	2371	6559
STORY3	SISMOX	-3981	3981	11014
STORY3	SISMOX	-3981	3981	11014
STORY2	SISMOX	-5055	5055	13984
STORY2	SISMOX	-5055	5055	13984
STORY1	SISMOX	-5591	5591	15469
STORY1	SISMOX	-5591	5591	15469

Se puede observar que tanto el programa de diseño como los resultados calculados manualmente son iguales. Además se verifica que la distribución de fuerzas corresponde a la explicada en el esquema de la sección III.2.2.

Los resultados confirman la importancia de las pantallas transversales en la estructura ya que las mismas deben soportar la mayor parte de las cargas en su sentido principal mientras que la torsión se reparte entre las demás pantallas.

IV.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TERCER MODELO.

En esta sección se presentan y discuten los resultados de las distribuciones de cargas en las pantallas del modelo así como también la influencia de los dinteles cuando se agregan aberturas a los elementos de la estructura.

IV.3.1 MODELO SIN ABERTURAS EN LAS PANTALLAS.

Como se dijo anteriormente, se aplicaron cargas en el centro de rigidez de las plantas para simular la acción sísmica, dichas cargas deben repartirse proporcionalmente a la rigidez de los elementos, la cual tiene componentes en este caso debidas a la flexión y corte.

En el análisis realizado se compararon los resultados obtenidos por el programa de diseño y por las fórmulas con las que se explica la relevancia tanto de la flexión como del corte en la rigidez de las pantallas.

En la tabla 23 se muestran los resultados de los desplazamientos en las pantallas producidos por las cargas sísmicas y se especifican los porcentajes de influencia de la flexión y el corte en dichos desplazamientos. Estos valores fueron obtenidos a través de la fórmula III-6

Tabla 23. Desplazamientos en las pantallas del tercer modelo.

Desplazamientos de las pantallas debidas a flexión y corte y % de influencia.					
Cuarto Piso					
Pantalla	Flexión (m)	Corte (m)	Total (m)	%Flexión	%Corte
P1	0.1167	0.0059	0.1227	95.16%	4.8%
P2	0.0146	0.0030	0.0176	83.09%	16.9%
P3	0.0146	0.0030	0.0176	83.09%	16.9%
Tercer Piso					
Pantalla	Flexión (m)	Corte (m)	Total (m)	%Flexión	%Corte
P1	0.0862	0.0078	0.0940	91.71%	8.3%
P2	0.0108	0.0039	0.0147	73.44%	26.6%
P3	0.0108	0.0039	0.0147	73.44%	26.6%
Segundo Piso					
Pantalla	Flexión (m)	Corte (m)	Total (m)	%Flexión	%Corte
P1	0.0641	0.0067	0.0708	90.57%	9.4%
P2	0.0080	0.0033	0.0114	70.59%	29.4%
P3	0.0080	0.0033	0.0114	70.59%	29.4%
Primer Piso					
Pantalla	Flexión (m)	Corte (m)	Total (m)	%Flexión	%Corte
P1	0.0089	0.0037	0.0126	70.59%	29.4%
P2	0.0011	0.0019	0.0030	37.50%	62.5%
P3	0.0011	0.0019	0.0030	37.50%	62.5%

Por medio de los resultados obtenidos se puede verificar que a partir del segundo piso de este modelo, los desplazamientos por flexión tienen una predominancia sobre los producidos por corte por lo que se pudieran despreciar los segundos. En función de esto, se realizaron los cálculos de la distribución de fuerzas sobre las pantallas que se presentan a continuación en la tabla 24.

Tabla 24. Distribución de fuerzas sísmicas sobre las pantallas del tercer modelo.

Distribución de fuerzas sísmicas sobre las pantallas.							
Cuarto Piso		E (kg/m²)	2.527E+09	H (m)	12	P (kgf)	100000
Pantalla	Flexión (m)	Corte (m)	Inercia (m⁴)	Rigidez	Carga (kgf)	Etabs (kgf)	Diferencia
P1	0.2280	-	0.1	4	5882	4738	24.16%
P2	0.0285	-	0.8	35	47059	47631	-1.20%
P3	0.0285	-	0.8	35	47059	47631	-1.20%
		Total	1.7	75	100000	100000	
Tercer piso		E (kg/m²)	2.527E+09	H (m)	9	P (kgf)	175000
Pantalla	Flexión (m)	Corte (m)	Inercia (m⁴)	Rigidez	Carga (kgf)	Etabs (kgf)	Diferencia
P1	0.1683	-	0.1	6	10294	11051	-6.85%
P2	0.0210	-	0.8	48	82353	81974	0.46%
P3	0.0210	-	0.8	48	82353	81974	0.46%
		Total	1.7	101	175000	175000	

Segundo piso		E (kg/m²)	2.527E+09	H (m)	6	P (kgf)	225000
Pantalla	Flexión (m)	Corte (m)	Inercia (m⁴)	Rigidez	Carga (kgf)	Etabs (kgf)	Diferencia
P1	0.0641	-	0.1	16	13235	13469	-1.74%
P2	0.0080	-	0.8	125	105882	105765	0.11%
P3	0.0080	-	0.8	125	105882	105765	0.11%
		Total	**1.7**	**265**	**225000**	**225000**	

Primer piso		E (kg/m²)	2.527E+09	H (m)	3	P (kgf)	250000
Pantalla	Flexión (m)	Corte (m)	Inercia (m⁴)	Rigidez	Carga (kgf)	Etabs (kgf)	Diferencia
P1	0.0089	0.0037	0.1	79	26316	25155	4.62%
P2	0.0011	0.0019	0.8	337	111842	112423	-0.52%
P3	0.0011	0.0019	0.8	337	111842	112423	-0.52%
		Total	**1.7**	**753**	**250000**	**250000**	

En la tabla 24, P1 es la pantalla central del modelo y P2 y P3 son las externas (ver planta en el marco metodológico). Los resultados muestran coincidencias entre ambos métodos utilizados. Es importante destacar que las fórmulas para determinar la carga sobre cada pantalla no toman en cuenta el aporte de la losa a la rigidez del modelo y esta puede ser causa de los errores encontrados entre los resultados.

En los valores obtenidos se confirma que la distribución de cargas se hace proporcionalmente a la rigidez de las pantallas y a partir del segundo piso es función de la inercia, mientras que en el primer piso existe una componente importante debida al corte. Este comportamiento está relacionado con la esbeltez de los muros a medida que van ganando altura.

Por último se puede concluir que con los valores de desplazamientos generados por las fórmulas utilizadas se puede calcular la rigidez de las pantallas para luego obtener una buena aproximación a los resultados conseguidos a través de los programas de diseño.

IV.3.2 MODELO CON ABERTURAS EN LAS PANTALLAS.

En la figura 28 se ilustra el modelo con aberturas en sus pantallas exteriores y con dinteles que unen ambos muros. La idea de estudiar los dos casos es comparar los resultados de la distribución de cargas para verificar el aporte de los dinteles y losa en la rigidez de la estructura.

El siguiente esquema muestra la planta de la estructura con las etiquetas en los muros para poder identificarlos.

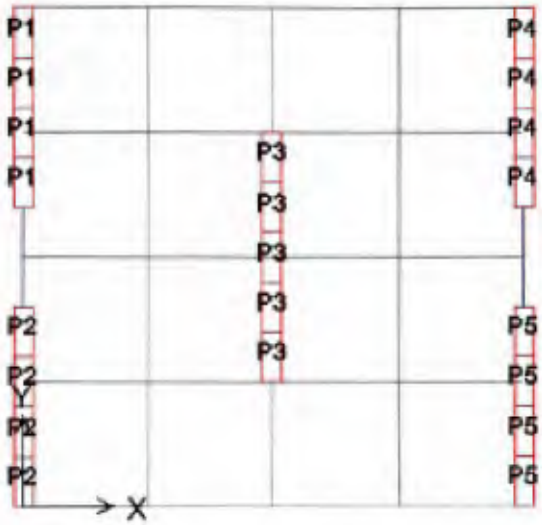

Figura 27. Planta del modelo y etiquetas en las pantallas para identificarlas.

La tabla 25 muestra los resultados de la distribución de fuerzas aplicadas sobre la estructura a partir de las fórmulas de desplazamientos y además los valores arrojados por ETABS con el modelo simulado con losa tipo membrana y sin dinteles entre las pantallas.

Tabla 25. Distribución de cargas para el modelo con aberturas y losa tipo membrana.

Cuatro plantas							
Cuarto Piso		**E (kg/m²)**	2.53E+09	**H (m)**	12	**P (kgf)**	100000
Pantalla	**Flexión (m)**	**Corte (m)**	**Inercia (m⁴)**	**Rigidez**	**Carga (kgf)**	**Etabs (kgf)**	**Diferencia**
P1	0.445	-	0.051	2	16798	16551	1.49%
P2	0.445	-	0.051	2	16798	16551	1.49%
P3	0.228	-	0.100	4	32808	33795	-2.92%
P4	0.445	-	0.051	2	16798	16551	1.49%
P5	0.445	-	0.051	2	16798	16551	1.49%
			0.305	13	**100000**	**100000**	

Tercer piso		**E (kg/m²)**	2.53E+09	**H (m)**	9	**P (kgf)**	175000
Pantalla	**Flexión (m)**	**Corte (m)**	**Inercia (m⁴)**	**Rigidez**	**Carga (kgf)**	**Etabs (kgf)**	**Diferencia**
P1	0.329	-	0.051	3	29396	29484	-0.30%
P2	0.329	-	0.051	3	29396	29484	-0.30%
P3	0.168	-	0.100	6	57415	57065	0.61%
P4	0.329	-	0.051	3	29396	29484	-0.30%
P5	0.329	-	0.051	3	29396	29484	-0.30%
			0.305	**18**	**175000**	**175000**	

Segundo piso		E (kg/m²)	2.53E+09	H (m)	6	P (kgf)	225000
Pantalla	**Flexión (m)**	**Corte (m)**	**Inercia (m^4)**	**Rigidez**	**Carga (kgf)**	**Etabs (kgf)**	**Diferencia**
P1	0.125	-	0.051	8	37795	37805	-0.02%
P2	0.125	-	0.051	8	37795	37805	-0.02%
P3	0.064	-	0.100	16	73819	73782	0.05%
P4	0.125	-	0.051	8	37795	37805	-0.02%
P5	0.125	-	0.051	8	37795	37805	-0.02%
			0.305	**48**	**225000**	**225000**	

Primer piso		E (kg/m²)	2.53E+09	H (m)	3	P (kgf)	250000
Pantalla	**Flexión (m)**	**Corte (m)**	**Inercia (m^4)**	**Rigidez**	**Carga (kgf)**	**Etabs (kgf)**	**Diferencia**
P1	0.017	0.004	0.051	47	44070	43789	0.64%
P2	0.017	0.004	0.051	47	44070	43789	0.64%
P3	0.009	0.004	0.100	79	73720	74844	-1.50%
P4	0.017	0.004	0.051	47	44070	43789	0.64%
P5	0.017	0.004	0.051	47	44070	43789	0.64%
			0.305	**269**	**250000**	**250000**	

Se verificaron los resultados arrojados por el programa y los obtenidos con el procedimiento manual y se despreció la acción del corte a partir del segundo piso debido a que las componentes en sus desplazamientos eran mínimas con respecto a las producidas por flexión. Los valores por ambos procedimientos tienen pequeñas diferencias que pueden ser omitidas.

Los resultados también demuestran que al colocar ciertas aberturas entre los muros y no conectarlos con algún elemento hace que pierdan rigidez y las cargas se repartan. En la tabla 26 se muestran los resultados de la distribución de cargas para los modelos sin aberturas, con dinteles y losa tipo shell y sólo con losas tipo membrana.

Tabla 26. Comparación entre las distribuciones de cargas para los casos estudiados.

	Cuarto Piso		
Pantalla	**Sin Aberturas (kgf)**	**Con Dinteles (kgf)**	**Membrana (kgf)**
P1	47631	48321	33102
P2	4738	3358	33795
P3	47631	48321	33102
	100000	**100000**	**100000**

	Tercer Piso		
Pantalla	Sin Aberturas (kgf)	Con Dinteles (kgf)	Membrana (kgf)
P1	81974	75182	58967
P2	11051	24636	57065
P3	81974	75182	58967
	175000	**175000**	**175000**

	Segundo Piso		
Pantalla	Sin Aberturas (kgf)	Con Dinteles (kgf)	Membrana (kgf)
P1	105765	91234	75609
P2	13469	42533	73782
P3	105765	91234	75609
	225000	**225000**	**225000**

	Primer Piso		
Pantalla	Sin Aberturas (kgf)	Con Dinteles (kgf)	Membrana (kgf)
P1	112423	94687	87578
P2	25155	60627	74844
P3	112423	94687	87578
	250000	**250000**	**250000**

Es importante destacar que las variaciones en todos los casos se hicieron sobre las pantallas externas (P1 y P3), en este sentido, cuando dichos elementos no tienen aberturas, su rigidez es mayor por lo que deben tomar más carga sísmica, al agregarle espacios y eliminar el aporte de la losa colocándola tipo membrana, la rigidez de estas pantallas disminuye significativamente haciendo que la carga se reparta y la pantalla del medio de la planta (P2) deba soportar gran parte de la fuerza.

Fratelli (1998) explica que en el caso de que las vigas que acoplan los muros tengan flexibilidad, las mismas actuarán como bielas que sólo transmitirán cargas axiales. Por otra parte indica que si las vigas tienen rigidez, corte y están empotradas en sus extremos, el comportamiento de los muros será intermedio entre el correspondiente a los muros independientes y los muros formando una sola unidad.

En general, para este tipo de estructuras los dinteles tienen una relación altura-longitud cercana a dos por lo que se pueden considerar como elementos rígidos que no permiten deformación por flexión y que conectan a los muros aportando rigidez al conjunto.

En los resultados se puede verificar que las pantallas con dinteles (P1 y P3) toman más carga en comparación al modelo con losa tipo membrana pero no llegan a tener tal rigidez como para absorber la misma fuerza que los muros sin aberturas. El

aporte de la rigidez es función de las dimensiones del dintel, a medida que su relación de esbeltez es menor, el comportamiento de los muros tenderá a ser como una sola unidad.

IV.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CUARTO MODELO.

Esta sección explica los resultados que se consiguieron en el cuarto modelo para las distintas solicitaciones que se le aplicaron.

IV.4.1 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS CON DIRECCIÓN GLOBAL Y.

Como se explicó en la sección III.2.4, la estructura fue sometida a cargas en dirección global Y sin excentricidad, es decir, la carga fue dispuesta paralelamente al sentido principal de la mayoría de las pantallas del modelo, esto se realizó con la finalidad de estudiar la distribución de cargas según la rigidez de los elementos.

Las tablas 27 a la 30 muestran la distribución de cargas en las pantallas, los valores fueron calculados utilizando las fórmulas III-5 y III-6 de desplazamientos por corte y por flexión nombradas en la sección III.2.3.

Tabla 27. Distribución de Cargas en dirección global Y. **Cuarto Piso**

Cuarto Piso		E (kg/m²)	2387519633	G (kg/m²)	955007853	P (kg)	23088	H (m)	10.28			
Pantalla	b (m)	d (m)	Ixx (m⁴)	H/L	ΔFlexión (m)	ΔCorte (m)	%Flexión	%Corte	Rigidez	Carga por Pantalla(kg)	Carga Acumulada(kg)	%Carga
P1	0.12	7.12	3.61	1.44	0.0010	0.0004	69%	31%	711	9153	9153	39.65%
P2	2.4	0.12	0.00		10.1325	0.0013	100%	0%	0	1	1	0.01%
P3	0.12	2.60	0.18	3.95	0.0199	0.0012	94%	6%	47	610	1529	6.62%
	0.12	3.00	0.27	3.43	0.0130	0.0010	93%	7%	71	919		
P4	0.12	2.00	0.08	5.14	0.0438	0.0016	97%	3%	22	284	861	3.73%
	0.12	2.00	0.08	5.14	0.0438	0.0016	97%	3%	22	284		
	0.12	2.02	0.08	5.09	0.0425	0.0015	97%	3%	23	292		
P5	0.12	7.12	3.61	1.44	0.0010	0.0004	69%	31%	711	9153	9153	39.65%
P6	2.4	0.12	0.00		10.1325	0.0013	100%	0%	0	1	1	0.01%
P7	0.12	2.60	0.18	3.95	0.0199	0.0012	94%	6%	47	610	1529	6.62%
	0.12	3.00	0.27	3.43	0.0130	0.0010	93%	7%	71	919		
P8	0.12	2.00	0.08	5.14	0.0438	0.0016	97%	3%	22	284	861	3.73%
	0.12	2.00	0.08	5.14	0.0438	0.0016	97%	3%	22	284		
	0.12	2.02	0.08	5.09	0.0425	0.0015	97%	3%	23	292		
			9						1793	23088	23088	100%

Tabla 28. Distribución de Cargas en dirección global Y. Tercer piso.

Tercer piso		E (kg/m²)	2387519633	G (kg/m²)	955007853	P (kg)	38770	H (m)	7.71			
Pantalla	b (m)	d (m)	Ixx (m^4)	H/L	ΔFlexión (m)	ΔCorte (m)	%Flexión	%Corte	Rigidez	Carga por Pantalla(kg)	Carga Acumulada (kg)	%Carga
P1	0.12	7.12	3.61	1.08	0.0007	0.0005	56%	44%	809	14788	14788	38.14%
P2	2.4	0.12	0.00		7.1782	0.0016	100%	0%	0	3	3	0.01%
P3	0.12	2.60	0.18	3.95	0.0141	0.0015	90%	10%	64	1171	2914	7.52%
	0.12	3.00	0.27	3.43	0.0092	0.0013	88%	12%	95	1743		
P4	0.12	2.00	0.08	5.14	0.0310	0.0020	94%	6%	30	555	1681	4.33%
	0.12	2.00	0.08	5.14	0.0310	0.0020	94%	6%	30	555		
	0.12	2.02	0.08	5.09	0.0301	0.0019	94%	6%	31	571		
P5	0.12	7.12	3.61	1.44	0.0007	0.0005	56%	44%	809	14788	14788	38.14%
P6	2.4	0.12	0.00		7.1782	0.0016	100%	0%	0	3	3	0.01%
P7	0.12	2.60	0.18	3.95	0.0141	0.0015	90%	10%	64	1171	2914	7.52%
	0.12	3.00	0.27	3.43	0.0092	0.0013	88%	12%	95	1743		
P8	0.12	2.00	0.08	5.14	0.0310	0.0020	94%	6%	30	555	1681	4.33%
	0.12	2.00	0.08	5.14	0.0310	0.0020	94%	6%	30	555		
	0.12	2.02	0.08	5.09	0.0301	0.0019	94%	6%	31	571		
			9						2120	38770	38770	100%

Tabla 29. Distribución de Cargas en dirección global Y. Segundo piso.

Segundo piso		E (kg/m²)	2387519633	G (kg/m²)	955007853	P (kg)	49225	H (m)	5.14			
Pantalla	b (m)	d (m)	Ixx (m⁴)	H/L	ΔFlexión (m)	ΔCorte (m)	%Flexión	%Corte	Rigidez	Carga por Pantalla(kg)	Carga Acumulada (kg)	%Carga
P1	0.12	7.12	3.61	0.72	0.0003	0.0005	36%	64%	1382	17171	17171	34.88%
P2	2.4	0.12	0.00		2.7004	0.0014	100%	0%	0	5	5	0.01%
P3	0.12	2.60	0.18	1.98	0.0053	0.0013	81%	19%	152	1887	4612	9.37%
	0.12	3.00	0.27	1.71	0.0035	0.0011	76%	24%	219	2725		
P4	0.12	2.00	0.08	2.57	0.0117	0.0017	88%	12%	75	933	2824	5.74%
	0.12	2.00	0.08	2.57	0.0117	0.0017	88%	12%	75	933		
	0.12	2.02	0.08	2.54	0.0113	0.0016	87%	13%	77	959		
P5	0.12	7.12	3.61	0.72	0.0003	0.0005	36%	64%	1382	17171	17171	34.88%
P6	2.4	0.12	0.00		2.7004	0.0014	100%	0%	0	5	5	0.01%
P7	0.12	2.60	0.18	1.98	0.0053	0.0013	81%	19%	152	1887	4612	9.37%
	0.12	3.00	0.27	1.71	0.0035	0.0011	76%	24%	219	2725		
P8	0.12	2.00	0.08	2.57	0.0117	0.0017	88%	12%	75	933	2824	5.74%
	0.12	2.00	0.08	2.57	0.0117	0.0017	88%	12%	75	933		
	0.12	2.02	0.08	2.54	0.0113	0.0016	87%	13%	77	959		
			9						3961	49225	49225	100%

Tabla 30. Distribución de Cargas en dirección global Y. Primer piso.

Primer piso		E (kg/m²)	2387519633	G (kg/m²)	955007853	P (kg)	54452	H (m)	2.57			
Pantalla	b (m)	d (m)	Ixx (m⁴)	H/L	ΔFlexión (m)	ΔCorte (m)	%Flexión	%Corte	Rigidez	Carga por Pantalla(kg)	Carga Acumulada (kg)	%Carga
P1	0.12	7.12	3.61	0.36	0.0000	0.0003	12%	88%	3413	14928	14928	27.41%
P2	2.4	0.12	0.00		0.3734	0.0008	100%	0%	3	12	12	0.02%
P3	0.12	2.60	0.18	0.99	0.0007	0.0007	51%	49%	695	3040	7059	12.96%
	0.12	3.00	0.27	0.86	0.0005	0.0006	44%	56%	919	4018		
P4	0.12	2.00	0.08	1.29	0.0016	0.0009	64%	36%	395	1730	5228	9.60%
	0.12	2.00	0.08	1.29	0.0016	0.0009	64%	36%	395	1730		
	0.12	2.02	0.08	1.27	0.0016	0.0009	63%	37%	404	1769		
P5	0.12	7.12	3.61	0.36	0.0000	0.0003	12%	88%	3413	14928	14928	27.41%
P6	2.4	0.12	0.00		0.3734	0.0008	100%	0%	3	12	12	0.02%
P7	0.12	2.60	0.18	0.99	0.0007	0.0007	51%	49%	695	3040	7059	12.96%
	0.12	3.00	0.27	0.86	0.0005	0.0006	44%	56%	919	4018		
P8	0.12	2.00	0.08	1.29	0.0016	0.0009	64%	36%	395	1730	5228	9.60%
	0.12	2.00	0.08	1.29	0.0016	0.0009	64%	36%	395	1730		
	0.12	2.02	0.08	1.27	0.0016	0.0009	63%	37%	404	1769		
			9						12449	54452	54452	100%

De las tablas anteriores:

- Pantalla: Etiqueta para identificar los muros del modelo.
- b: Dimensión en sentido X de la pantalla.
- d: Dimensión en sentido Y de la pantalla.
- Ixx: Inercia de la sección en sentido X
- H/L: Relación de esbeltez de la pantalla
- ΔFlexión: Desplazamientos por flexión.
- ΔCorte: Desplazamientos por corte.
- %Flexión: Relación entre los desplazamientos por flexión y los totales de cada pantalla.
- %Corte: Relación entre los desplazamientos por corte y los totales de cada pantalla.
- Rigidez: Calculada como el inverso de los desplazamientos totales de cada pantalla.
- Carga por Pantalla: Fuerza tomada por cada elemento individual que forma la pantalla completa.
- Carga Acumulada: Suma de las fuerzas tomadas por cada elemento individual o fuerza total que es absorbida por la pantalla.
- %Carga: Porcentaje de la carga aplicada en la planta que toma la pantalla.

En los resultados mostrados en las tablas 27, 28, 29 y 30 se pueden observar que los desplazamientos por corte son más o menos apreciables en función de la relación de esbeltez de las pantallas. En este caso se tomaron en cuenta en todos los pisos, sin embargo, los mismos pueden ser despreciables en las pantallas con aberturas a partir del segundo nivel de la estructura para facilitar los cálculos de la distribución de cargas y repartir las fuerzas sólo por inercia. En el caso de los muros sin aberturas, la relación de esbeltez es bastante baja por lo que no es recomendable despreciar el aporte del corte al análisis.

Por otra parte, según los porcentajes de carga mostrados en las tablas 27 a la 30, se confirmó que la distribución de fuerzas se hace proporcionalmente a la rigidez de los elementos siendo los más rígidos los que deben soportar mayores solicitaciones.

Los valores obtenidos mediante este procedimiento fueron comparados con dos casos de estudios que se simularon con el programa de diseño. Las siguientes tablas muestran los resultados agrupados de estos casos y los valores obtenidos por fórmulas con la finalidad de que se pueda realizar una comparación entre ellos.

Tabla 31. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados.

	Cuarto Piso (kgf)					
	Valores de cargas tomadas			Porcentajes de cargas tomadas		
	Muros Indiv.	Muro Dinteles	Fórmulas	Muros Indiv.	Muro Dinteles	Fórmulas
P1	10839	7115	9153	46.95%	30.82%	39.65%
P2	0	-275	1	0.00%	-1.19%	0.01%
P3	545	2153	1529	2.36%	9.32%	6.62%
P4	160	2276	861	0.69%	9.86%	3.73%
P5	10839	7115	9153	46.95%	30.82%	39.65%
P6	0	275	1	0.00%	1.19%	0.01%
P7	545	2153	1529	2.36%	9.32%	6.62%
P8	160	2276	861	0.69%	9.86%	3.73%
	23088	23088	23088	100%	100%	100%

	Tercer Piso (kgf)					
	Valores de cargas tomadas			Porcentajes de cargas tomadas		
	Muros Indiv.	Muro Dinteles	Fórmulas	Muros Indiv.	Muro Dinteles	Fórmulas
P1	15859	12682	14788	40.90%	32.71%	38.14%
P2	0	-238	3	0.00%	-0.61%	0.01%
P3	2264	3653	2914	5.84%	9.42%	7.52%
P4	1263	3050	1681	3.26%	7.87%	4.33%
P5	15859	12682	14788	40.90%	32.71%	38.14%
P6	0	238	3	0.00%	0.61%	0.01%
P7	2264	3653	2914	5.84%	9.42%	7.52%
P8	1263	3050	1681	3.26%	7.87%	4.33%
	38770	38770	38770	100%	100%	100%

	Segundo Piso (kgf)					
	Valores de cargas tomadas			Porcentajes de cargas tomadas		
	Muros Indiv.	Muro Dinteles	Fórmulas	Muros Indiv.	Muro Dinteles	Fórmulas
P1	19095	16498	17171	38.79%	33.51%	34.88%
P2	0	-196	5	0.00%	-0.40%	0.01%
P3	3653	4729	4612	7.42%	9.61%	9.37%
P4	1865	3386	2824	3.79%	6.88%	5.74%
P5	19095	16498	17171	38.79%	33.51%	34.88%
P6	0	196	5	0.00%	0.40%	0.01%
P7	3653	4729	4612	7.42%	9.61%	9.37%
P8	1865	3386	2824	3.79%	6.88%	5.74%
	49225	49225	49225	100%	100%	100%

	Primer Piso (kgf)					
	Valores de cargas tomadas			Porcentajes de cargas tomadas		
	Muros Indiv.	Muro Dinteles	Fórmulas	Muros Indiv.	Muro Dinteles	Fórmulas
P1	16473	15393	14928	30.25%	28.27%	27.41%
P2	0	-81	12	0.00%	-0.15%	0.02%
P3	6176	6604	7059	11.34%	12.13%	12.96%
P4	4577	5229	5228	8.41%	9.60%	9.60%
P5	16473	15393	14928	30.25%	28.27%	27.41%
P6	0	81	12	0.00%	0.15%	0.02%
P7	6176	6604	7059	11.34%	12.13%	12.96%
P8	4577	5229	5228	8.41%	9.60%	9.60%
	54452	54452	54452	100%	100%	100%

En la tabla anterior:

- Muros individuales: Son los valores de las cargas tomadas por cada pantalla cuando no se incluyeron los dinteles ni la losa en el problema.
- Muros con dinteles: En este caso se colocaron dinteles en las aberturas de las pantallas y la losa se introdujo como tipo shell.
- Fórmulas: Valores obtenidos de las tablas 27, 28, 29 y 30

Los resultados de las tablas anteriores muestran que es posible conseguir una aproximación importante a los resultados de las distribuciones de cargas sobre las pantallas utilizando el procedimiento con fórmulas tradicionales. Los errores conseguidos son mayores en las plantas superiores, esto es debido a que el comportamiento es más disperso en estas zonas. Sin embargo, el diseño de los muros se realiza acorde a los valores obtenidos en la base de la estructura ya que los esfuerzos allí son más importantes, en este sentido, se pueden tener como confiables los resultados obtenidos manualmente.

Las tablas 31 también reflejan el aporte de los dinteles a la rigidez de las pantallas, principalmente en las plantas superiores donde se puede ver que los porcentajes de cargas tomadas por las pantallas externas disminuyen considerablemente mientras que las fuerzas repartidas en el resto de los muros aumentan debido a la acción de los dinteles y las losas. En este sentido se recomendable destacar la importancia de los dinteles en el comportamiento de la estructura y la necesidad de hacer un buen diseño de los mismos.

IV.4.2 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS CON DIRECCIÓN GLOBAL X.

En este caso las cargas sísmicas fueron dispuestas en el sentido perpendicular a la mayoría de las pantallas del modelo. Se buscaba estudiar la importancia de las pantallas transversales en el comportamiento de las estructuras tipo túnel.

A continuación se presentan, en la tabla 32, 33, 34 y 35, los resultados obtenidos a través de las fórmulas de desplazamientos y rigidez, para conseguir los valores se siguió el mismo procedimiento explicado en el punto anterior, la única diferencia es el eje que se tomó para calcular la inercia de los elementos.

Tabla 32. Distribución de Cargas en dirección global X. Cuarto Piso

Cuarto Piso		E (kg/m)	2.4E09	G (kg/m²)	9.6E08	P (kg)	23088	H (m)	10.28		
Pantalla	b (m)	d (m)	Iyy (m^4)	ΔFlexión	ΔCorte	%Flexión	%Corte	Rigidez	Carga por Pantalla(kg)	Carga Acumulada (kg)	%Carga
P1	0.12	7.12	0.00	3.4155	0.0004	99.99%	0.01%	0.29	88	88	0.38%
P2	2.4	0.12	0.14	0.0253	0.0013	95.14%	4.86%	37.56	11312	11312	48.99%
P3	0.12	2.60	0.00	9.3531	0.0012	99.99%	0.01%	0.11	32	69	0.30%
	0.12	3.00	0.00	8.1060	0.0010	99.99%	0.01%	0.12	37		
P4	0.12	2.00	0.00	12.1591	0.0016	99.99%	0.01%	0.08	25	75	0.32%
	0.12	2.00	0.00	12.1591	0.0016	99.99%	0.01%	0.08	25		
	0.12	2.02	0.00	12.0387	0.0015	99.99%	0.01%	0.08	25		
P5	0.12	7.12	0.00	3.4155	0.0004	99.99%	0.01%	0.29	88	88	0.38%
P6	2.4	0.12	0.14	0.0253	0.0013	95.14%	4.86%	37.56	11312	11312	48.99%
P7	0.12	2.60	0.00	9.3531	0.0012	99.99%	0.01%	0.11	32	69	0.30%
	0.12	3.00	0.00	8.1060	0.0010	99.99%	0.01%	0.12	37		
P8	0.12	2.00	0.00	12.1591	0.0016	99.99%	0.01%	0.08	25	75	0.32%
	0.12	2.00	0.00	12.1591	0.0016	99.99%	0.01%	0.08	25		
	0.12	2.02	0.00	12.0387	0.0015	99.99%	0.01%	0.08	25		
			0.28					77	23088		

Tabla 33. , **Distribución de Cargas en dirección global X. Tercer Piso**

Tercer piso		E (kg/m	2.4E09	G (kg/m²)	9.6E08	P (kg)	38770	H (m)	7.71		
Pantalla	b (m)	d (m)	Iyy (m^4)	ΔFlexión	ΔCorte	%Flexión	%Corte	Rigidez	Carga por Pantalla(kg)	Carga Acumulada (kg)	%Carga
P1	0.12	7.12	0.00	2.4196	0.0005	99.98%	0.02%	0.41	154	154	0.40%
P2	2.4	0.12	0.14	0.0179	0.0016	91.67%	8.33%	51.08	18981	18981	48.96%
P3	0.12	2.60	0.00	6.6260	0.0015	99.98%	0.02%	0.15	56	121	0.31%
	0.12	3.00	0.00	5.7426	0.0013	99.98%	0.02%	0.17	65		
P4	0.12	2.00	0.00	8.6139	0.0020	99.98%	0.02%	0.12	43	130	0.33%
	0.12	2.00	0.00	8.6139	0.0020	99.98%	0.02%	0.12	43		
	0.12	2.02	0.00	8.5286	0.0019	99.98%	0.02%	0.12	44		
P5	0.12	7.12	0.00	2.4196	0.0005	99.98%	0.02%	0.41	154	154	0.40%
P6	2.4	0.12	0.14	0.0179	0.0016	91.67%	8.33%	51.08	18981	18981	48.96%
P7	0.12	2.60	0.00	6.6260	0.0015	99.98%	0.02%	0.15	56	121	0.31%
	0.12	3.00	0.00	5.7426	0.0013	99.98%	0.02%	0.17	65		
P8	0.12	2.00	0.00	8.6139	0.0020	99.98%	0.02%	0.12	43	130	0.33%
	0.12	2.00	0.00	8.6139	0.0020	99.98%	0.02%	0.12	43		
	0.12	2.02	0.00	8.5286	0.0019	99.98%	0.02%	0.12	44		
			0.28					104	38770		

Tabla 34. Distribución de Cargas en dirección global X. Segundo Piso

Segundo piso		E (kg/m²)	2.4E09	G (kg/m²)	9.6E08	P (kg)	49225	H (m)	5.14		
Pantalla	b (m)	d (m)	Iyy (m^4)	ΔFlexión	ΔCorte	%Flexión	%Corte	Rigidez	Carga por Pantalla(kg)	Carga Acumulada (kg)	%Carga
P1	0.12	7.12	0.00	0.9103	0.0005	99.95%	0.05%	1.10	215	215	0.44%
P2	2.4	0.12	0.14	0.0068	0.0014	83.03%	16.97%	122.99	24047	24047	48.85%
P3	0.12	2.60	0.00	2.4927	0.0013	99.95%	0.05%	0.40	78	169	0.34%
	0.12	3.00	0.00	2.1603	0.0011	99.95%	0.05%	0.46	90		
P4	0.12	2.00	0.00	3.2405	0.0017	99.95%	0.05%	0.31	60	182	0.37%
	0.12	2.00	0.00	3.2405	0.0017	99.95%	0.05%	0.31	60		
	0.12	2.02	0.00	3.2084	0.0016	99.95%	0.05%	0.31	61		
P5	0.12	7.12	0.00	0.9103	0.0005	99.95%	0.05%	1.10	215	215	0.44%
P6	2.4	0.12	0.14	0.0068	0.0014	83.03%	16.97%	122.99	24047	24047	48.85%
P7	0.12	2.60	0.00	2.4927	0.0013	99.95%	0.05%	0.40	78	169	0.34%
	0.12	3.00	0.00	2.1603	0.0011	99.95%	0.05%	0.46	90		
P8	0.12	2.00	0.00	3.2405	0.0017	99.95%	0.05%	0.31	60	182	0.37%
	0.12	2.00	0.00	3.2405	0.0017	99.95%	0.05%	0.31	60		
	0.12	2.02	0.00	3.2084	0.0016	99.95%	0.05%	0.31	61		
			0.28					252	49225		

Tabla 35. **Distribución de Cargas en dirección global X. Primer Piso**

Primer Piso		**E (kg/m²)**	**2.4E09**	**G (kg/m²)**	9.6E08	**P (kg)**	**54452**	**H (m)**	2.57		
Pantalla	**b (m)**	**d (m)**	**Iyy (m^4)**	**ΔFlexión**	**ΔCorte**	**%Flexión**	**%Corte**	**Rigidez**	**Carga por Pantalla(kg)**	**Carga Acumulada (kg)**	**%Carga**
P1	0.12	7.12	0.00	0.1259	0.0003	99.80%	0.20%	7.93	354	354	**0.65%**
P2	2.4	0.12	0.14	0.0009	0.0008	55.02%	44.98%	589.38	26295	26295	**48.29%**
P3	0.12	2.60	0.00	0.3447	0.0007	99.80%	0.20%	2.90	129	278	**0.51%**
	0.12	3.00	0.00	0.2987	0.0006	99.80%	0.20%	3.34	149		
P4	0.12	2.00	0.00	0.4481	0.0009	99.80%	0.20%	2.23	99	299	**0.55%**
	0.12	2.00	0.00	0.4481	0.0009	99.80%	0.20%	2.23	99		
	0.12	2.02	0.00	0.4436	0.0009	99.80%	0.20%	2.25	100		
P5	0.12	7.12	0.00	0.1259	0.0003	99.80%	0.20%	7.93	354	354	**0.65%**
P6	2.4	0.12	0.14	0.0009	0.0008	55.02%	44.98%	589.38	26295	26295	**48.29%**
P7	0.12	2.60	0.00	0.3447	0.0007	99.80%	0.20%	2.90	129	278	**0.51%**
	0.12	3.00	0.00	0.2987	0.0006	99.80%	0.20%	3.34	149		
P8	0.12	2.00	0.00	0.4481	0.0009	99.80%	0.20%	2.23	99	299	**0.55%**
	0.12	2.00	0.00	0.4481	0.0009	99.80%	0.20%	2.23	99		
	0.12	2.02	0.00	0.4436	0.0009	99.80%	0.20%	2.25	100		
			0.28					1220	54452		

En este caso se tomó en cuenta el aporte de las pantallas colocadas perpendicular a la fuerza aplicada pero se puede ver que el mismo es totalmente despreciable ya que la mayor parte de la carga es tomada por las pantallas dispuestas en el sentido de la fuerza.

Con respecto a los desplazamientos por corte, se confirma que los porcentajes de influencia con respecto a los desplazamientos totales pudieran ser despreciables a partir del segundo nivel de la estructura pero existe una importante componente en la planta inferior de la estructura. De nuevo, este comportamiento tiene relación con la esbeltez de los muros y a la hora de diseñar por rigidez debe considerarse el aporte del corte en los primeros pisos de la edificación.

A continuación se presenta la tabla 36 a la 39 donde se realizó comparación de valores con los resultados arrojados por el programa de diseño.

Tabla 36. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Cuarto Piso

			Cargas tomadas por cada pantalla			% de Carga tomada por cada pantalla		
Story	Pier	Load	Shell y Dinteles(kgf)	Formulas (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)	Shell y Dinteles(kgf)	Formulas (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)
STORY4	P1	SX	387	88	125	1.7%	0.4%	0.5%
STORY4	P2	SX	8810	11312	11411	38.2%	49.0%	49.4%
STORY4	P3	SX	567	32	2	2.5%	0.1%	0.0%
STORY4	P4	SX	935	37	2	4.1%	0.2%	0.0%
STORY4	P5	SX	225	25	1	1.0%	0.1%	0.0%
STORY4	P6	SX	307	25	1	1.3%	0.1%	0.0%
STORY4	P7	SX	312	25	1	1.4%	0.1%	0.0%
STORY4	P8	SX	387	88	125	1.7%	0.4%	0.5%
STORY4	P9	SX	8810	11312	11411	38.2%	49.0%	49.4%
STORY4	P10	SX	567	32	2	2.5%	0.1%	0.0%
STORY4	P11	SX	935	37	2	4.1%	0.2%	0.0%
STORY4	P12	SX	225	25	1	1.0%	0.1%	0.0%
STORY4	P13	SX	307	25	1	1.3%	0.1%	0.0%
STORY4	P14	SX	312	25	1	1.4%	0.1%	0.0%
			23088	**23088**	**23088**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

Tabla 37. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Tercer Piso

			Cargas tomadas por cada pantalla			% de Carga tomada por cada pantalla		
Story	Pier	Load	Shell y Dinteles(kgf)	Formulas (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)	Shell y Dinteles(kgf)	Formulas (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)
STORY3	P1	SX	684	154	365	1.8%	0.4%	0.9%
STORY3	P2	SX	16528	18981	18920	42.6%	49.0%	48.8%
STORY3	P3	SX	515	56	22	1.3%	0.1%	0.1%
STORY3	P4	SX	881	65	26	2.3%	0.2%	0.1%
STORY3	P5	SX	197	43	17	0.5%	0.1%	0.0%
STORY3	P6	SX	289	43	17	0.7%	0.1%	0.0%
STORY3	P7	SX	291	44	17	0.8%	0.1%	0.0%
STORY3	P8	SX	684	154	365	1.8%	0.4%	0.9%
STORY3	P9		16528	18981	18920	42.6%	49.0%	48.8%
STORY3	P10	SX	515	56	22	1.3%	0.1%	0.1%
STORY3	P11	SX	881	65	26	2.3%	0.2%	0.1%
STORY3	P12	SX	197	43	17	0.5%	0.1%	0.0%
STORY3	P13	SX	289	43	17	0.7%	0.1%	0.0%
STORY3	P14	SX	291	44	17	0.8%	0.1%	0.0%
			38770	38770	38770	100.0%	100.0%	100.0%

Tabla 38. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Segundo Piso

			Cargas tomadas por cada pantalla			% de Carga tomada por cada pantalla		
Story	Pier	Load	Shell y Dinteles(kgf)	Formulas (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)	Shell y Dinteles(kgf)	Formulas (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)
STORY2	P1	SX	840	215	434	1.7%	0.4%	0.9%
STORY2	P2	SX	21808	24047	24147	44.3%	48.9%	49.1%
STORY2	P3	SX	468	78	7	1.0%	0.2%	0.0%
STORY2	P4	SX	785	90	8	1.6%	0.2%	0.0%
STORY2	P5	SX	183	60	5	0.4%	0.1%	0.0%
STORY2	P6	SX	264	60	5	0.5%	0.1%	0.0%
STORY2	P7	SX	264	61	5	0.5%	0.1%	0.0%
STORY2	P8	SX	840	215	434	1.7%	0.4%	0.9%
STORY2	P9	SX	21808	24047	24147	44.3%	48.9%	49.1%
STORY2	P10	SX	468	78	7	1.0%	0.2%	0.0%
STORY2	P11	SX	785	90	8	1.6%	0.2%	0.0%
STORY2	P12	SX	183	60	5	0.4%	0.1%	0.0%
STORY2	P13	SX	264	60	5	0.5%	0.1%	0.0%
STORY2	P14	SX	264	61	5	0.5%	0.1%	0.0%
			49225	49225	49225	100.0%	100.0%	100.0%

Tabla 39. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Primer Piso

			Cargas tomadas por cada pantalla			% de Carga tomada por cada pantalla		
Story	Pier	Load	Shell y Dinteles(kgf)	Formulas (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)	Shell y Dinteles(kgf)	Formulas (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)
STORY1	P1	SX	1245	354	1022	2.3%	0.6%	1.9%
STORY1	P2	SX	24695	26295	25813	45.4%	48.3%	47.4%
STORY1	P3	SX	300	129	87	0.6%	0.2%	0.2%
STORY1	P4	SX	453	149	101	0.8%	0.3%	0.2%
STORY1	P5	SX	152	99	67	0.3%	0.2%	0.1%
STORY1	P6	SX	190	99	67	0.3%	0.2%	0.1%
STORY1	P7	SX	190	100	68	0.3%	0.2%	0.1%
STORY1	P8	SX	1245	354	1022	2.3%	0.6%	1.9%
STORY1	P9	SX	24695	26295	25813	45.4%	48.3%	47.4%
STORY1	P10	SX	300	129	87	0.6%	0.2%	0.2%
STORY1	P11	SX	453	149	101	0.8%	0.3%	0.2%
STORY1	P12	SX	152	99	67	0.3%	0.2%	0.1%
STORY1	P13	SX	190	99	67	0.3%	0.2%	0.1%
STORY1	P14	SX	190	100	68	0.3%	0.2%	0.1%
			54452	**54452**	**54452**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

En los resultados anteriores se les asignó una etiqueta a cada muro, sin embargo se resaltan P2 y P9 que corresponden a las pantallas dispuestas en el sentido de la fuerza. Se simuló el modelo con losa tipo shell dinteles y con losa tipo membrana sin dinteles para comparar los resultados y verificar la influencia de estos elementos en el problema.

En la sección IV.1.1 se trató el aporte de la losa en el comportamiento de la estructura midiendo las derivas de cada piso y se concluyó que la misma contribuye con la rigidez de la estructura de manera importante.

En este caso se trata la influencia de la losa en la distribución de cargas hacia las pantallas y se puede observar que en los niveles superiores los porcentajes de cargas absorbidas por las pantallas P2 y P9 son menores cuando se consideró la losa. Esto quiere decir que la rigidez de la planta se distribuye haciendo que las pantallas dispuestas en el sentido de la fuerza se descarguen y las tensiones que se generan sean más pequeñas.

Con este análisis logra resaltar la importancia de las pantallas transversales en la estructura ya que estas son las encargadas de soportar las cargas aplicadas en su plano por lo que es recomendable que dentro del diseño de la planta de la estructura se les dé una longitud importante para que puedan distribuir los esfuerzos internamente.

IV.4.3 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS Y MOMENTO TORSOR.

Hasta ahora se había estudiado el modelo real con cargas aplicadas al centro de rigidez de la estructura, en este punto se presentan los resultados de la distribución de fuerzas cuando se aplica un momento torsor o una carga con excentricidad. En las secciones IV.1.3 y IV.2.2 se trató este tema con modelos más sencillos pero que logran ilustrar el comportamiento, allí se explicó que al aplicar un momento sobre la estructura se crea un par de fuerzas que se suman o se restan a las fuerzas cortantes sobre las pantallas.

Las tablas 40 a la 43 a la muestran la distribución de cargas sobre las pantallas.

Tabla 40. Distribución de Cargas con momento torsor aplicado. Cuarto Piso

Cuarto Piso		E (kg/cm²)	238752	G (kg/cm²)	95501	P (kgf)	23088	H (m)	10.28	Mt (kg-m)	55411		
Pantalla	b (m)	d (m)	Ixx (m⁴)	ΔFlexión	ΔCorte	Rigidez	di (m)	Ri.di	Ri.di^2	Fti (kgf)	Fuerza Cortante (kgf)	Fuerza Total (kgf)	%Carga
P1	0.12	7.12	3.61E+08	0.10	0.044	7.11	8.00	56.88	455.03	3263	9153	5890	25.51%
P2	2.4	0.12	3.46E+04	1013.25	0.129	0.00	6.77	0.01	0.05	0	1	1	0.00%
P3	0.12	2.6	1.76E+07	1.99	0.119	0.47	4.68	2.22	10.37	127	610	482	2.09%
	0.12	3	2.70E+07	1.30	0.104	0.71	4.68	3.34	15.64	192	919	728	3.15%
P4	0.12	2	8.00E+06	4.38	0.155	0.22	1.66	0.37	0.61	21	284	263	1.14%
	0.12	2	8.00E+06	4.38	0.155	0.22	1.66	0.37	0.61	21	284	263	1.14%
	0.12	2.02	8.24E+06	4.25	0.154	0.23	1.66	0.38	0.63	22	292	271	1.17%
P5	0.12	7.12	3.61E+08	0.10	0.044	7.11	8.00	56.88	455.03	3263	9153	12416	53.78%
P6	2.4	0.12	3.46E+04	1013.25	0.129	0.00	6.77	0.01	0.05	0	1	2	0.01%
P7	0.12	2.6	1.76E+07	1.99	0.119	0.47	4.68	2.22	10.37	127	610	737	3.19%
	0.12	3	2.70E+07	1.30	0.104	0.71	4.68	3.34	15.64	192	919	1111	4.81%
P8	0.12	2	8.00E+06	4.38	0.155	0.22	1.66	0.37	0.61	21	284	305	1.32%
	0.12	2	8.00E+06	4.38	0.155	0.22	1.66	0.37	0.61	21	284	305	1.32%
	0.12	2.02	8.24E+06	4.25	0.154	0.23	1.66	0.38	0.63	22	292	314	1.36%
		∑Inercia	8.51E+08			4.14			965.86		23088	23088	100%

Tabla 41. Distribución de Cargas con momento torsor aplicado. Tercer Piso

Tercer Piso		E (kg/cm²)	238752	G (kg/cm²)	95501	P (kgf)	38770	H (m)	7.71	Mt (kg-m)	93048		
Pantalla	**b (m)**	**d (m)**	**Ixx (m⁴)**	**ΔFlexión**	**ΔCorte**	**Rigidez**	**di (m)**	**Ri.di**	**Ri.di^2**	**Fti (kgf)**	**Fuerza Cortante (kgf)**	**Fuerza Total (kgf)**	**%Carga**
P1	0.12	7.12	3.61E+08	0.07	0.055	8.09	8.00	64.68	517.46	5423	14788	9365	24.16%
P2	2.4	0.12	3.46E+04	717.82	0.163	0.00	6.77	0.01	0.06	1	3	2	0.00%
P3	0.12	2.6	1.76E+07	1.41	0.150	0.64	4.68	3.00	14.02	251	1171	920	2.37%
	0.12	3	2.70E+07	0.92	0.130	0.95	4.68	4.46	20.87	374	1743	1369	3.53%
P4	0.12	2	8.00E+06	3.10	0.196	0.30	1.66	0.50	0.84	42	555	513	1.32%
	0.12	2	8.00E+06	3.10	0.196	0.30	1.66	0.50	0.84	42	555	513	1.32%
	0.12	2.02	8.24E+06	3.01	0.194	0.31	1.66	0.52	0.86	43	571	527	1.36%
P5	0.12	7.12	3.61E+08	0.07	0.055	8.09	8.00	64.68	517.46	5423	14788	20210	52.13%
P6	2.4	0.12	3.46E+04	717.82	0.163	0.00	6.77	0.01	0.06	1	3	3	0.01%
P7	0.12	2.6	1.76E+07	1.41	0.150	0.64	4.68	3.00	14.02	251	1171	1422	3.67%
	0.12	3	2.70E+07	0.92	0.130	0.95	4.68	4.46	20.87	374	1743	2117	5.46%
P8	0.12	2	8.00E+06	3.10	0.196	0.30	1.66	0.50	0.84	42	555	597	1.54%
	0.12	2	8.00E+06	3.10	0.196	0.30	1.66	0.50	0.84	42	555	597	1.54%
	0.12	2.02	8.24E+06	3.01	0.194	0.31	1.66	0.52	0.86	43	571	614	1.58%
		∑Inercia	8.51E+08			4.14			1109.90			38770	100%

Tabla 42. . Distribución de Cargas con momento torsor aplicado. Segundo Piso

Segundo Piso		E (kg/cm²)	238752	G (kg/cm²)	95501	P (kgf)	49225	H (m)	5.14	Mt (kg-m)	118139		
Pantalla	h (m)	d (m)	Ixx (m⁴)	ΔFlexión	ΔCorte	Rigidez	di (m)	Ri.di	Ri.di^2	Fti (kgf)	Fuerza Cortante (kgf)	Fuerza Total (kgf)	%Carga
P1	0.12	7.12	3.61E+08	0.03	0.047	13.82	8.00	110.54	884.36	6717	17171	10454	21.24%
P2	2.4	0.12	3.46E+04	270.04	0.138	0.00	6.77	0.03	0.17	2	5	3	0.01%
P3	0.12	2.6	1.76E+07	0.53	0.127	1.52	4.68	7.11	33.27	432	1887	1456	2.96%
	0.12	3	2.70E+07	0.35	0.110	2.19	4.68	10.26	48.03	624	2725	2101	4.27%
P4	0.12	2	8.00E+06	1.17	0.166	0.75	1.66	1.25	2.07	76	933	857	1.74%
	0.12	2	8.00E+06	1.17	0.166	0.75	1.66	1.25	2.07	76	933	857	1.74%
	0.12	2.02	8.24E+06	1.13	0.164	0.77	1.66	1.28	2.13	78	959	881	1.79%
P5	0.12	7.12	3.61E+08	0.03	0.047	13.82	8.00	110.54	884.36	6717	17171	23889	48.53%
P6	2.4	0.12	3.46E+04	270.04	0.138	0.00	6.77	0.03	0.17	2	5	6	0.01%
P7	0.12	2.6	1.76E+07	0.53	0.127	1.52	4.68	7.11	33.27	432	1887	2319	4.71%
	0.12	3	2.70E+07	0.35	0.110	2.19	4.68	10.26	48.03	624	2725	3348	6.80%
P8	0.12	2	8.00E+06	1.17	0.166	0.75	1.66	1.25	2.07	76	933	1009	2.05%
	0.12	2	8.00E+06	1.17	0.166	0.75	1.66	1.25	2.07	76	933	1009	2.05%
	0.12	2.02	8.24E+06	1.13	0.164	0.77	1.66	1.28	2.13	78	959	1036	2.11%
		∑Inercia	8.51E+08			4.14			1944.17			49225	100%

Tabla 43. Distribución de Cargas con momento torsor aplicado. Primer Piso

Primer Piso		E (kg/cm²)	238752	G (kg/cm²)	95501	P (kgf)	54452	H (m)	5.14	Mt (kg-m)	130685		
Pantalla	**b (m)**	**d (m)**	**Ixx (m^4)**	**ΔFlexión**	**ΔCorte**	**Rigidez**	**di (m)**	**Ri.di**	**Ri.di^2**	**Fti (kgf)**	**Fuerza Cortante (kgf)**	**Fuerza Total (kgf)**	**%Carga**
P1	0.12	7.12	3.61E+08	0.03	0.051	12.49	8.00	99.93	799.46	7431	14928	7497	13.77%
P2	2.4	0.12	3.46E+04	298.72	0.153	0.00	6.77	0.02	0.15	2	12	10	0.02%
P3	0.12	2.6	1.76E+07	0.59	0.141	1.37	4.68	6.43	30.07	478	3040	2562	4.71%
	0.12	3	2.70E+07	0.38	0.122	1.98	4.68	9.28	43.42	690	4018	3328	6.11%
P4	0.12	2	8.00E+06	1.29	0.183	0.68	1.66	1.13	1.87	84	1730	1646	3.02%
	0.12	2	8.00E+06	1.29	0.183	0.68	1.66	1.13	1.87	84	1730	1646	3.02%
	0.12	2.02	8.24E+06	1.25	0.181	0.70	1.66	1.16	1.92	86	1769	1683	3.09%
P5	0.12	7.12	3.61E+08	0.03	0.051	12.49	8.00	99.93	799.46	7431	14928	22358	41.06%
P6	2.4	0.12	3.46E+04	298.72	0.153	0.00	6.77	0.02	0.15	2	12	13	0.02%
P7	0.12	2.6	1.76E+07	0.59	0.141	1.37	4.68	6.43	30.07	478	3040	3518	6.46%
	0.12	3	2.70E+07	0.38	0.122	1.98	4.68	9.28	43.42	690	4018	4708	8.65%
P8	0.12	2	8.00E+06	1.29	0.183	0.68	1.66	1.13	1.87	84	1730	1813	3.33%
	0.12	2	8.00E+06	1.29	0.183	0.68	1.66	1.13	1.87	84	1730	1813	3.33%
	0.12	2.02	8.24E+06	1.25	0.181	0.70	1.66	1.16	1.92	86	1769	1855	3.41%
		∑Inercia	8.51E+08			4.14			1757.53			54452	100%

Mediante los resultados se comprueba el comportamiento lógico de la estructura donde las fuerzas cortantes disminuyen en un extremo mientras que en el otro aumentan debido al par de fuerzas aplicado. Es importante destacar la torsión en la distribución de fuerzas ya que el diseño debe realizarse para las condiciones más desfavorables

Con el programa de diseño se estudió los mismos casos que en las secciones anteriores para verificar los resultados de las fórmulas. Las tablas 44, 45, 46 y 47 muestran los valores obtenidos.

Tabla 44.Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Cuarto Piso

			Cargas tomadas por cada pantalla			% de Carga tomada por cada pantalla		
Story	Pier	Load	Formulas (kgf)	Shell y Dinteles (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)	Formulas (kgf)	Shell y Dinteles (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)
STORY4	P1	SY	5890	4014	7407	25.5%	17.4%	32.1%
STORY4	P2	SY	1	-275	0	0.0%	-1.2%	0.0%
STORY4	P3	SY	482	686	172	2.1%	3.0%	0.7%
STORY4	P4	SY	728	921	320	3.2%	4.0%	1.4%
STORY4	P5	SY	263	469	53	1.1%	2.0%	0.2%
STORY4	P6	SY	263	1086	53	1.1%	4.7%	0.2%
STORY4	P7	SY	271	515	55	1.2%	2.2%	0.2%
STORY4	P8	SY	12416	10216	14272	53.8%	44.2%	61.8%
STORY4	P9	SY	2	275	0	0.0%	1.2%	0.0%
STORY4	P10	SY	737	1165	200	3.2%	5.0%	0.9%
STORY4	P11	SY	1111	1533	398	4.8%	6.6%	1.7%
STORY4	P12	SY	305	567	52	1.3%	2.5%	0.2%
STORY4	P13	SY	305	1301	52	1.3%	5.6%	0.2%
STORY4	P14	SY	314	615	55	1.4%	2.7%	0.2%
			23088	**23088**	**23088**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

Tabla 45. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Tercer Piso

			Cargas tomadas por cada pantalla			% de Carga tomada por cada pantalla		
Story	Pier	Load	Formulas (kgf)	Shell y Dinteles (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)	Formulas (kgf)	Shell y Dinteles (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)
STORY3	P1	SY	9365	7433	10332	24.2%	19.2%	26.6%
STORY3	P2	SY	2	-238	0	0.0%	-0.6%	0.0%
STORY3	P3	SY	920	1159	712	2.4%	3.0%	1.8%
STORY3	P4	SY	1369	1619	1091	3.5%	4.2%	2.8%
STORY3	P5	SY	513	753	386	1.3%	1.9%	1.0%
STORY3	P6	SY	513	1248	386	1.3%	3.2%	1.0%
STORY3	P7	SY	527	785	397	1.4%	2.0%	1.0%
STORY3	P8	SY	20210	17931	21386	52.1%	46.2%	55.2%
STORY3	P9	SY	3	238	0	0.0%	0.6%	0.0%
STORY3	P10	SY	1422	1899	1078	3.7%	4.9%	2.8%
STORY3	P11	SY	2117	2628	1646	5.5%	6.8%	4.2%
STORY3	P12	SY	597	898	448	1.5%	2.3%	1.2%
STORY3	P13	SY	597	1486	448	1.5%	3.8%	1.2%
STORY3	P14	SY	614	931	461	1.6%	2.4%	1.2%
			38770	**38770**	**38770**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

Tabla 46. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Segundo Piso

			Cargas tomadas por cada pantalla			% de Carga tomada por cada pantalla		
Story	Pier	Load	Formulas (kgf)	Shell y Dinteles (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)	Formulas (kgf)	Shell y Dinteles (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)
STORY2	P1	SY	54	9798	12[illegible]0	21.2%	19.9%	24.7%
STORY2	P2	SY	3	-196	0	0.0%	-0.4%	0.0%
STORY2	P3	SY	1456	1500	1160	3.0%	3.0%	2.4%
STORY2	P4	SY	2101	2155	1768	4.3%	4.4%	3.6%
STORY2	P5	SY	857	878	576	1.7%	1.8%	1.2%
STORY2	P6	SY	857	1323	576	1.7%	2.7%	1.2%
STORY2	P7	SY	881	915	595	1.8%	1.9%	1.2%
STORY2	P8	SY	23889	23197	26030	48.5%	47.1%	52.9%
STORY2	P9	SY	6	196	0	0.0%	0.4%	0.0%
STORY2	P10	SY	2319	2379	1721	4.7%	4.8%	3.5%
STORY2	P11	SY	3348	3424	2657	6.8%	7.0%	5.4%
STORY2	P12	SY	1009	1030	653	2.0%	2.1%	1.3%
STORY2	P13	SY	1009	1559	653	2.0%	3.2%	1.3%
STORY2	P14	SY	1036	1068	676	2.1%	2.2%	1.4%
			49225	**49225**	**49225**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

Tabla 47. Valores de las cargas por pantallas para los tres casos estudiados. Primer Piso

			Cargas tomadas por cada pantalla			% de Carga tomada por cada pantalla		
Story	Pier	Load	Formulas (kgf)	Shell y Dinteles (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)	Formulas (kgf)	Shell y Dinteles (kgf)	Membrana Sin Dintel (kgf)
STORY1	P1	SY	7497	8384	9363	13.8%	15.4%	17.2
STORY1	P2	SY	10	-81	0	0.0%	-0.1%	0.0%
STORY1	P3	SY	2562	2070	1937	4.7%	3.8%	3.6%
STORY1	P4	SY	3328	2734	2588	6.1%	5.0%	4.8%
STORY1	P5	SY	1646	1495	1368	3.0%	2.7%	2.5%
STORY1	P6	SY	1646	1692	1368	3.0%	3.1%	2.5%
STORY1	P7	SY	1683	1533	1399	3.1%	2.8%	2.6%
STORY1	P8	SY	22358	22402	23583	41.1%	41.1%	43.3%
STORY1	P9	SY	13	81	0	0.0%	0.1%	0.0%
STORY1	P10	SY	3518	3628	3359	6.5%	6.7%	6.2%
STORY1	P11	SY	4708	4775	4469	8.6%	8.8%	8.2%
STORY1	P12	SY	1813	1821	1661	3.3%	3.3%	3.0%
STORY1	P13	SY	1813	2054	1661	3.3%	3.8%	3.0%
STORY1	P14	SY	1855	1864	1697	3.4%	3.4%	3.1%
			54452	**54452**	**54452**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

Los resultados muestran la correcta distribución de cargas y confirman que los momentos torsores deben ser repartidos de acuerdo a la rigidez de las pantallas. El procedimiento con las fórmulas presenta algunas diferencias que son más marcadas en los pisos superiores pero los resultados mantienen el orden de magnitud y cumplen con el objetivo de aproximar a los valores reales. En los niveles cercanos a la base donde las fuerzas se hacen más críticas, la fórmula hace estimaciones muy cercanas.

En relación a la influencia de los dinteles y el aporte de la losa a la rigidez, como también se pudo observar en la sección IV.4.1, se hace más importante a medida que se aumenta en altura el edificio. Estos elementos logran acoplar las pantallas y hacen que su comportamiento sea más rígido por lo que las cargas se distribuyen mejor.

IV.4.4 FLEXIÓN EN LAS PANTALLAS.

El último análisis que se realizó sobre el cuarto modelo estuvo relacionado a la flexión producida en los elementos verticales de esta estructura donde se calcularon los valores multiplicando el corte obtenido por fórmulas tradicionales por la altura de los niveles y se comparó con los valores arrojados por el programa. Las tablas 48, 49, 50 con los resultados se muestran a continuación.

Tabla 48. Momentos flectores por piso para pantallas P1 y P5

				ETABS		Estática	
Story	Pier	Load	Loc	V2	M3	Corte	M. Flector
STORY4	P1	SY	Top	7115	-49	9153	0
STORY4	P1	SY	Bottom	7115	18237	9153	23524
STORY3	P1	SY	Top	12682	18191	14788	23524
STORY3	P1	SY	Bottom	12682	50782	14788	61528
STORY2	P1	SY	Top	16498	50744	17171	61528
STORY2	P1	SY	Bottom	16498	93143	17171	105658
STORY1	P1	SY	Top	15393	93121	14928	105658
STORY1	P1	SY	Bottom	15393	132682	14928	144022

Tabla 49.Momentos flectores por piso para pantallas P3 y P7

				ETABS		Estática	
Story	Pier	Load	Loc	V2	M3	Corte	M. Flector
STORY4	P3	SY	Top	2153	78	1529	0
STORY4	P3	SY	Bottom	2153	5610	1529	3929
STORY3	P3	SY	Top	3653	5705	2914	3929
STORY3	P3	SY	Bottom	3653	15092	2914	11418
STORY2	P3	SY	Top	4729	15180	4612	11418
STORY2	P3	SY	Bottom	4729	27333	4612	23272
STORY1	P3	SY	Top	6604	27392	7059	23272
STORY1	P3	SY	Bottom	6604	44363	7059	41412

Tabla 50. Momentos flectores por piso para pantallas P4 y P8

				ETABS		Estática	
Story	Pier	Load	Loc	V2	M3	Corte	M. Flector
STORY4	P4	SY	Top	2276	-4	861	0
STORY4	P4	SY	Bottom	2276	5846	861	2211
STORY3	P4	SY	Top	3050	5838	1681	2211
STORY3	P4	SY	Bottom	3050	13678	1681	6530
STORY2	P4	SY	Top	3386	13670	2824	6530
STORY2	P4	SY	Bottom	3386	22372	2824	13789
STORY1	P4	SY	Top	5229	22366	5228	13789
STORY1	P4	SY	Bottom	5229	35805	5228	27[illegible]6

Se puede observar que la manera manual de calcular los momentos sobre las pantallas mantiene los órdenes de magnitud. Sin embargo, los errores son producto de la dispersión que se consiguió en las fuerzas cortantes en los niveles superiores debido al comportamiento de las pantallas en el tope.

Este momento flector debe ser inferior al resistente por diseño para garantizar que la estructura no falle. Para calcular el momento último de las pantallas de las estructuras tipo túnel donde el acero es uniformemente distribuido en la sección

transversal del muro es recomendable utilizar la fórmula de Cárdenas y Magura (1973) que se presenta a continuación.

$$M_n = 0.5A_s f_y l_w (1 + \frac{N_n}{A_s f_y})(1 - \frac{c}{l_w}) \quad \text{(IV-1)}$$

Donde,

M_n: Momento último de la sección.

A_s: Área de acero a tensión en el muro (Refuerzo vertical)

f_y: esfuerzo de fluencia del acero vertical.

l_w: longitud del muro.

N_n: Carga axial actuante

c: Profundidad del eje neutro medida desde la fibra a compresión máxima.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.

- En el análisis de las edificaciones tipo túnel bajo cargas sísmicas se demostró que la losa aporta rigidez a la estructura disminuyendo cien por ciento los desplazamientos entrepiso con respecto a modelos donde no toman en cuenta este elemento. Esto es debido a que la losa traba las pantallas ayudando a que la estructura se comporte como un conjunto. Por otra parte, las losas tienen influencia en la distribución de cargas sobre las pantallas ya que las mismas conectan estos elementos aportándoles rigidez cuando presentan aberturas por lo que permite que puedan absorber mayor carga sísmica. En este sentido es recomendable que al utilizar programas de diseño estructural se simule la losa como un elemento de área tipo shell.

- Se pudo comprobar que la distribución de esfuerzos cortantes en las pantallas tiene forma de bulbo donde el máximo se produce en el centro del tramo. Por otra parte, los esfuerzos por flexión son casi lineales y los máximos valores se encuentran en los extremos de los muros. Es posible obtener una aproximación a estos valores utilizando fórmulas tradicionales, las cuales se mostraron en el desarrollo de este trabajo especial de grado.

  Adicionalmente se encontró que los esfuerzos cortantes en las columnas de una estructura aporticada similar a una tipo túnel son mucho mayores a los esfuerzos que se generan en las pantallas. Esto se debe a que la relación entre el área de las pantallas con respecto al área de la planta es aproximadamente tres a cuatro veces mayor al área de las columnas con respecto al área de la planta. Al tener mayor área resistente, las estructuras tipo túnel son menos vulnerables y pudieran permanecer en su rango elástico dependiendo del sismo y de algunas otras condiciones. Asimismo, son más rígidas y absorben mayor fuerza sísmica pero tienen mayor capacidad resistente debido a la densidad de pantallas que poseen.

- En relación a la distribución de cargas en la estructura se demostró que la misma se realiza proporcionalmente a la rigidez de los elementos. En este sentido es posible despreciar el aporte de las pantallas cuyo plano principal sea perpendicular a la carga aplicada, por esta razón, se recomienda que al utilizar cualquier programa de diseño se definan las pantallas como elementos de área tipo membrada. También se pudo comprobar que de acuerdo a la relación de esbeltez de los muros, se puede considerar o despreciar los desplazamientos producidos por las fuerzas cortantes sobre la estructuras. En esta investigación se llegó a la conclusión de que sólo en el primer piso de la estructura la componente por corte es importante en muros con aberturas y debe tomarse en cuenta para el

diseño. Sin embargo, para muros sin aberturas no se deben despreciar los desplazamientos por corte ya que su relación de esbeltez es bastante menor. Conjuntamente, se especificaron fórmulas a través de las cuales es posible obtener una aproximación a la distribución de cargas sísmicas

Una vez repartidas las cargas sísmicas se puede calcular la flexión en las pantallas y determinar el momento actuante sobre la base de estos elementos. En el diseño de la estructura se debe determinar la disposición de acero para resistir dichos momentos, para ello se recomendó utilizar la fórmula de Cárdenas y Magura (1973) para secciones de muros con acero uniformemente distribuido.

- Cuando deben colocarse aberturas para puertas y ventanas en las pantallas, las mismas pierden rigidez y capacidad para soportar cargas sísmicas. En estos casos, los dinteles son elementos que logran acoplar los muros y aportan rigidez al conjunto dependiendo de las dimensiones de los mismos. La relación de esbeltez de los dinteles en las estructuras tipo túnel es cercana a dos por lo que son elementos muy rígidos que no permiten deformación a flexión. El aporte de los dinteles es mayor en los pisos superiores de la edificación donde los desplazamientos de las pantallas tienden a ser superiores.

BIBLIOGRAFÍA.

ACI 318. (2008). *Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary*. Detroit, MI, USA: ACI. 471 pg.

Alcocer, S. (1995). *Comportamiento y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado: Muros Estructurales*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres e Instituto de Ingeniería. 238-256 pg.

Aluma Frame Table System. (2005, S.L). Aluma Systems Inc. 11 pg. Obtenido el 5 de Octubre de 2011, de:
http://www.beis.com/our-services/otherservices/infrastructure-services/

Aluma Truss Product Sheet. (S.F, S.L) Aluma Systems Inc. 2 pg. Obtenido el 5 de Octubre de 2011, de:
http://www.beis.com/our-services/otherservices/infrastructure-services/

Aluma Truss System. (S.F, S.L) Aluma Systems Inc. 4 pg. Obtenido el 5 de Octubre de 2011, de:
http://www.beis.com/french/PDF/ProductOffering/Files/Col/Aluma_Truss.pdf

Balcaya, C. y Kalkan, E (2004). *Relevance of R-Factor and fundamental period for seismic design of tunnel form buildings*. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canada. Paper No 3153.

Branger, A. (Comunicación personal), (2011, 19 de septiembre)

Branger, E. (2004). *Desarrollo de encofrado liviano FICS tipo túnel*. Proyecto Industrial. Ingeniería Civil. Universidad Metropolitana. Caracas.

Cárdenas A. y Magura D. (1973). *Strength of High-Rise Shear Walls-Rectangular cross sections*, A.C.I. Response of Multistorey Concrete Structures to Lateral Forces, Publicación Especial, 36, 119-150.

Catálogo FORSA. (2010). Colombia: Formaletas S.A, FORSA. 72 pg. Obtenido el 5 de Octubre de 2011, de:
http://forsa.com.co/es/sistema-forsa/documentos/

Cellular Construction using Tunnel Form (2009) Dunne Group Ltd. 13 pg. Obtenido el 7 de Septiembre de 2011, de: http://www.dunnegroup.com/Downloads/Capabilities/Tunnel%20Form%20Document.pdf

Covenin 1753 (2006). *Proyecto y Construcción de obras en Concreto Estructural.* Caracas: Fondonorma. 329 pg.

Covenin 1756-1 (2001). *Edificaciones Sismorresistentes.* Caracas: Ministerio de Infraestructura. 89 pg.

Covenin 2002 (1988). *Criterios de acciones mínimas para el proyecto de edificaciones.* Caracas: Ministerio del Desarrollo Urbano. 56 pg.

Covenin 2004 (1998). *Terminología de las normas COVENIN-MINDUR de edificaciones.* Caracas: Ministerio del Desarrollo Urbano. 129 pg.

Di Francesco, I. y Herrera, M. (1979). *Diseño de estructuras de edificios con muros de pared delgada.* Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.

Etabs, Manual en Español. (2005, Noviembre). Berkeley, CA, USA: Computers and Structures, Inc. 242 pg.

Fargier G, Luis B y Fargier S, Luis E. (2010). *Concreto Armado, Comportamiento y Diseño.* Publicado por Luis B. Fargier G. Mérida, Venezuela. 414 pg.

Fratelli, María G. (1998). *Edificios Altos.* Caracas, Venezuela: Unive. 429 pg.

Fratelli, María G. (1999). *Edificios de pantallas y Estructuras Aporticadas.* Caracas, Venezuela: Unive. 426 pg.

Gulkan, P. y Yakut, A. (2003). *Tunnel Form Building.* World Housing Encyclopedia (www.world-housing.net). Earthquake Engineering Research Institute e International Association for Earthquake Engineering, Turquía. Reporte 101

Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2003). *Metodología de la investigación.* (3ra Edición) México D. F: McGraw-Hill. 705 pg.

High performance buildings– using tunnel form concrete construction. (2004). Camberley: The Concrete Centre.. 8 pg. Obtenido el 7 de Septiembre de 2011, de: http://www.concretecentre.com/online_services/publication_library/publication_details.aspx?PublicationId=462

Hurtado, J. (2006). *El proyecto de investigación.* (4ta Edición). Bogotá: Ediciones Quirón Sypal. 168 pg.

Kalkan, E. y Yüksel, S. B. (2008). *Pros and cons of multistory RC tunnel-form (box-type) buildings.* The Structural Design of Tall and Special Buildings, 17: 601–617.

Landeau, R. (2008, septiembre). *Referencias y citas bibliográficas.* Caracas: Universidad Metropolitana. Obtenido el 2 de Octubre de 2011, de http://medusa.unimet.edu.ve/procesos/referencias.html

Nilson A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto.* (12va Edición). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana. 722 pg.

Paulay, T., Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of reinforced concrete and masonry buildings.* New York: John Wiley & Sons. 767 pg.

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J. y Velazco, G. (2008). *Manual del concreto estructural.* (2da Edición) Caracas, Venezuela: Sidetur. 502 pg.

Sabino, C. (2000). *El proceso de investigación.* Caracas: Panapo. 205 pg.

Sistemas de Encofrado "Tipo Túnel". (S.F, S.L) Outinord. 2 pg. Obtenido el 5 de Octubre de 2011, de: http://www.outinord.com/sitespagnol/pdf/SYSTEM%20ENCOFRADO%20ESP.pdf

Velásquez, José M. (Comunicación personal), (2011, 1 de Octubre)

Velásquez, José M. (Comunicación personal), (2011, 4 de Octubre)