

UNIVERSIDAD ESTATAL DE CUENCA



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE NUDOS CON LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y DE SECCIÓN VARIABLE, CON LUCES DE 6, 8, 10 Y 12 METROS”

DISERTACIÓN DE TESIS, PRESENTADA
A LA FACULTAD DE INGENIERÍA PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

AUTORES:

JOHANNA CRISTINA GALLEGOS YÁNEZ

NOEMI GISSELA ZHIRZHÁN ABAD

TUTOR:

DR. ING. NELSON NAVARRO CAMPOS

CUENCA – ECUADOR

Octubre del 2015



RESUMEN

La construcción de estructuras empleando prefabricados de hormigón, como sistema constructivo en Cuenca, ha sido escasa. La prefabricación de estos elementos presenta ventajas como: reducir tiempo en obra y costos, mejorar la calidad y seguridad de las estructuras.

Se han desarrollado diferentes tecnologías constructivas por vía de la prefabricación, pero su aplicación local requiere estudios de factibilidad. Sin embargo, su uso se considera positivo y conveniente. Algunos ejemplos de resultados favorables en Cuenca son: El Parqueadero Soterrado del Parque de la Madre y La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca en Balzay.

Aun así, existe incertidumbre en el comportamiento estructural de conexiones entre prefabricados, haciendo necesario abordar el análisis estructural de nudos en Losas TT. Las Losas TT de sección transversal uniforme producen nudos deficientes, provocando discontinuidad de la estructura. En contraste, las Losas TT de sección variable producen nudos rígidos y continuidad.

Se busca determinar el comportamiento estructural, de las conexiones entre los elementos prefabricados, para esto se utilizará el software SAP2000, donde se modelará las losas TT en sus variantes de sección y longitud entre 6 y 12 m.

Se obtendrá así, información sobre las condiciones estructurales que permita la aplicación de las Losas TT de sección variable en la construcción. Los resultados contribuirán con una solución para el avance de la construcción en Cuenca y el Ecuador, particularmente para los casos de conexión Viga – Losa TT y Muro – Losa TT.

Quedan planteadas futuras investigaciones que involucren otros tipos de secciones que garanticen continuidad estructural.



Universidad Estatal de Cuenca

PALABRAS CLAVE: Prefabricación, Losas TT, Sección Constante, Sección Variable, Nudo, Rigidez, Análisis Estructural, Continuidad, Carga Sísmica en Estructuras



ABSTRACT

The use of precast concrete elements in the construction of buildings as constructive system in Cuenca has been poor. Prefabricated elements have advantages such as reduce the time of assemblage and cost, improve quality and safety of structures.

Different constructive technologies have been developed through prefabrication, but local application requires feasibility studies. However, it's use is considered positive and convenient. Examples of favorable results in Cuenca are the underground parking at the Parque de La Madre and the School of Engineering of Universidad de Cuenca in Balzay.

Even so, there is uncertainty in the structural behavior of connections between precast elements, making it necessary to address the structural analysis of TT slabs nodes.

TT slabs of uniform cross section produce deficient nodes, causing discontinuity in the structure. In contrast, TT slabs of variable cross section produce rigid nodes and continuity.

The purpose is determining the structural behavior of connections between the prefabricated elements, using software such as SAP2000, where the TT slabs will be modeled in varying cross section and length from 6m to 12m.

This will provide information on the structural conditions that allow the application of TT slab variable section in construction. The results will contribute to a solution for the progress of construction in Cuenca and Ecuador, particularly for cases of connections Beam - TT Slab and Wall - TT Slab.

Are left further researches involving other types of sections to ensure structural continuity.



Universidad Estatal de Cuenca

KEY WORDS: Prefabrication, TT Slabs, Uniform cross section, Variable cross section, Node, Structural Analysis, Rigidity, Continuity, Seismic Load



TABLA DE CONTENIDOS

1. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	22
1.1 Antecedentes.....	22
1.2 Justificación.....	25
1.3 Objetivo General	26
1.4 Objetivos Específicos	27
1.5 Alcance y Contenido	27
1.6 Método de Investigación	28
1.7 Marco teórico	29
2. CAPITULO 2: MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS OBJETO DE ESTUDIO	33
2.1 Consideraciones Geométricas	33
2.2 Condiciones de Borde	39
2.3 Determinación de Cargas.....	40
2.3.1 Carga muerta.....	42
2.3.2 Carga viva	43
2.3.3 Carga de viento	43
2.3.4 Carga de sismo.....	47
2.4 Combinación de Cargas.....	62
2.5 Materiales.....	64
3. CAPITULO 3: RESULTADOS Y CONSIDERACIONES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	66
3.1 Consideraciones para el análisis de los resultados obtenidos de la modelación en el programa SAP2000.	66
3.2 Análisis de las Losas TT de sección constante.....	67



3.2.1	Losas TT de Sección Constante con 6m de luz.....	67
3.2.2	Losas TT de Sección Constante con 8m de luz.....	70
3.2.3	Losas TT de Sección Constante con 10m de luz.....	72
3.2.4	Losas TT de Sección Constante con 12m de luz.....	74
3.3	Análisis de las Losas TT de sección variable.....	77
3.3.1	Losas TT de Sección variable con 6m de luz.	77
3.3.2	Losas TT de Sección Variable con 8m de luz.....	79
3.3.3	Losas TT de Sección Constante con 10m de luz.....	82
3.3.4	Losas TT de Sección Variable con 12m de luz.....	84
3.4	Resultados de Desplazamientos y Giros obtenidos de la modelación en el programa SAP2000.	87
4.	CAPITULO 4: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN	90
4.1	Comparación de los resultados obtenidos en el programa SAP2000, con resultados obtenidos del Diseño de Aceros	90
4.2	Análisis de resultados considerando las variantes de sección y longitud.	93
5.	CONCLUSIONES	98
6.	RECOMENDACIONES	101
7.	REFERENCIAS.....	102



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva esfuerzo deformación en Hormigón Armado y Hormigón Pretensado. Fuente: Carrasco Castro (2010). [8].....	31
Figura 2: Losas TT con Extremos Cerrados para Edificaciones Prefabricadas – Pretensadas. Luces hasta 12,00m con peralte de 0,35m y hasta de 18,00m con peralte de 0,60m.	33
Figura 3: Losas TT con Extremos Cerrados para Edificaciones Prefabricadas – Pretensadas. Luces hasta 12,00m con peralte de 0,35m y hasta de 18,00m con peralte de 0,60m.	34
Figura 4: Losa TT de sección constante más carpeta.....	34
Figura 5: Pórtico conformado con Losas TT de sección constante más carpeta y muros.....	35
Figura 6: Losa TT de sección variable en los extremos más carpeta.....	35
Figura 7: Pórtico conformado con Losas TT de sección variable más carpeta y muros.	35
Figura 8: Dimensiones de la sección TT constante más carpeta de 0.10m.	36
Figura 9: Dimensiones de los elementos ficticios de sección constante para modelación de la cartela de Losa TT de sección variable.	37
Figura 10: Sección transversal del elemento ficticio 1.....	37
Figura 11: Sección transversal del elemento ficticio 2.....	38
Figura 12: Sección transversal del elemento ficticio 3.....	38
Figura 13: Sección transversal del elemento ficticio 4.....	38
Figura 14: Sección transversal del elemento ficticio 5.....	39
Figura 15: Sección transversal del elemento ficticio 6.....	39
Figura 16: Gráfico de momento para un elemento simplemente apoyado.	40
Figura 17: Gráfico de momento para elementos continuos en la estructura. ...	40
Figura 18: Mapa de zonas sísmicas del Ecuador. Fuente: NEC-11. [18].....	47
Figura 19: Distribución de las fuerzas sísmicas equivalentes en Pórtico conformado por Losas TT de sección constante.....	61



Figura 20: Distribución de las fuerzas sísmicas equivalentes en Pórtico conformado por Losas TT de sección variable en los extremos..... 61

Figura 21: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 67

Figura 22: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1. 68

Figura 23: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 68

Figura 24: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 69

Figura 25: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 69

Figura 26: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 70

Figura 27: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 70

Figura 28: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 71

Figura 29: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 71

Figura 30: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 71

Figura 31: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 72

Figura 32: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 72

Figura 33: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 73

Figura 34: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 73



Figura 35: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 73

Figura 36: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 73

Figura 37: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 74

Figura 38: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 10 m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 74

Figura 39: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 75

Figura 40: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 75

Figura 41: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 75

Figura 42: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 76

Figura 43: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 76

Figura 44: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 76

Figura 45: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 77

Figura 46: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas1..... 78

Figura 47: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 78

Figura 48: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 78

Figura 49: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 79



Figura 50: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 79

Figura 51: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 80

Figura 52: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 80

Figura 53: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 80

Figura 54: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 81

Figura 55: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 81

Figura 56: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 81

Figura 57: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 82

Figura 58: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 82

Figura 59: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 83

Figura 60: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 83

Figura 61: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 83

Figura 62: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2..... 84

Figura 63: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 84

Figura 64: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1..... 85



Figura 65: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.....	85
Figura 66: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.....	85
Figura 67: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.....	86
Figura 68: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.....	86
Figura 69: Enumeración de nudos en la estructura objeto de estudio.....	87
Figura 70: Ubicación de los aceros en las Losas TT (dL) y en la carpeta (dc). 92	



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Carga muerta por metro cuadrado de Losa TT y por metro lineal de Losa TT.....	42
Tabla 2: Carga muerta de Instalaciones por metro cuadrado de Losa TT y por metro lineal de Losa TT.....	43
Tabla 3: Carga viva por metro cuadrado de Losa TT y por metro lineal de Losa TT.....	43
Tabla 4: Valores para el Coeficiente de Corrección (σ). Fuente: NEC-11 [16].	45
Tabla 5: Valores para determinación del Factor de entorno/altura. Fuente: NEC-11 [16].	46
Tabla 6: Valores para la determinación del factor de forma Cf. Fuente: NEC-11 [16].....	46
Tabla 7: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. Fuente: NEC-11. [18].....	48
Tabla 8: Tipo de uso, destino e importancia de la Estructura. Fuente: NEC-11. [19].....	49
Tabla 9: Coeficientes C_t y α según el tipo de estructura. Fuente NEC-11. [20]	51
Tabla 10: Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico. Fuente: NEC-11. [21].....	53
Tabla 11: Tipo de suelo y factores de sitio F_a (zona de períodos cortos). Fuente: NEC-11. [22].....	54
Tabla 12: Tipo de suelo y Factores de sitio F_d (zona períodos intermedios). Fuente: NEC-11. [22].....	54
Tabla 13: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s . Fuente: NEC-11. [22].....	55
Tabla 14: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles. Fuente: NEC-11. [23].....	56
Tabla 15: Configuraciones estructurales recomendadas. Fuente: NEC-11. [24].....	57



Tabla 16: Carga Sísmica Reactiva de las edificaciones conformadas por Losas TT de sección constante.	58
Tabla 17: Carga Sísmica Reactiva de las edificaciones conformadas por Losas TT de sección variable.	58
Tabla 18: Cortante Basal de Diseño de las edificaciones conformadas por Losas TT de sección constante.....	59
Tabla 19: Cortante Basal de Diseño de las edificaciones conformadas por Losas TT de sección variable.....	59
Tabla 20: Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T . Fuente: NEC-11. [26]	60
Tabla 21: Fuerzas Sísmicas Equivalentes en Losas TT de sección constante, variantes de luz de 6m, 8m, 10m y 12m.....	61
Tabla 22: Fuerzas Sísmicas Equivalentes en Losas TT de sección variable, variantes de luz de 6m, 8m, 10m y 12m.....	61
Tabla 23: Desplazamientos Horizontales y Giros en Losas TT de sección variable en los extremos de 6m de luz.	87
Tabla 24: Desplazamientos Horizontales y Giros en Losas TT de sección variable en los extremos de 8m de luz.	88
Tabla 25: Desplazamientos Horizontales y Giros en Losas TT de sección variable en los extremos de 10m de luz.	88
Tabla 26: Desplazamientos Horizontales y Giros en Losas TT de sección variable en los extremos de 12m de luz.	88
Tabla 27: Desplazamientos Verticales (mm) de Losas TT en sus variantes de sección y longitud, utilizando la Combinación de Cargas 1.....	89
Tabla 28: Desplazamientos Verticales (mm) de Losas TT en sus variantes de sección y longitud, utilizando la Combinación de Cargas 2.....	89
Tabla 29: Datos para determinación de Momento Nominal.....	92
Tabla 30: Determinación del Momento Nominal en base a la cantidad de acero.	92



Tabla 31: Acero necesario para la carpeta de 0.10m, según la diferencia de momento último y momento nominal en Losa TT de sección variable de 6m de luz.....	92
Tabla 32: Acero necesario para la carpeta de 0.10m, según la diferencia de momento último y momento nominal en Losa TT de sección variable de 8m de luz.....	93
Tabla 33: Acero necesario para la carpeta de 0.10m, según la diferencia de momento último y momento nominal en Losa TT de sección variable de 10m de luz.....	93
Tabla 34: Acero necesario para la carpeta de 0.10m, según la diferencia de momento último y momento nominal en Losa TT de sección variable de 12m de luz.....	93
Tabla 35: Valores de ΔM máximos, expresados como fracción de la altura. Fuente: NEC-11. [30]	96
Tabla 36: Verificación de las Derivas máximas de piso.	97
Tabla 37: Deflexiones Máximas Admisibles. Fuente: ACI-318. [31]	94
Tabla 38: Desplazamientos determinados a partir de cargas de servicio no mayoradas y comparados con los desplazamientos máximos permitidos por el código ACI-318.....	95



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Johanna Cristina Gallegos Yáñez, autora de la tesis "COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE NUDOS CON LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y DE SECCIÓN VARIABLE, CON LUCES DE 6, 8, 10 Y 12 METROS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 30 de Octubre de 2015.

Johanna Cristina Gallegos Yáñez.

C.I: 0105198923



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Johanna Cristina Gallegos Yáñez, autora de la tesis "COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE NUDOS CON LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y DE SECCIÓN VARIABLE, CON LUCES DE 6, 8, 10 Y 12 METROS" reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 30 de Octubre de 2015.

Johanna Cristina Gallegos Yáñez.

C.I: 0105198923



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Noemí Gissela Zhirzhán Abad, autora de la tesis "COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE NUDOS CON LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y DE SECCIÓN VARIABLE, CON LUZES DE 6, 8, 10 Y 12 METROS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 30 de Octubre de 2015.

Noemí Gissela Zhirzhán Abad

C.I: 0105895189



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Noemí Gissela Zhirzhán Abad, autora de la tesis "COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE NUDOS CON LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y DE SECCIÓN VARIABLE, CON LUCES DE 6, 8, 10 Y 12 METROS" reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 30 de Octubre de 2015.

Noemí Gissela Zhirzhán Abad

C.I: 0105895189



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación principalmente a Dios, por guiar mí camino y darme fortaleza para salir adelante a pesar de las adversidades.

A mis padres Galo Gallegos y Ligia Yáñez, mi hermano David y mis hermanas Verónica y Paola, que me apoyaron constantemente para poder cumplir con una meta más en mi vida.

Johanna Cristina Gallegos Yáñez.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme permitido haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación personal.

A mis padres José Leonardo y Rosa Yolanda, por ser un pilar fundamental en mi vida, un apoyo incondicional e inculcarme buenos valores ya que durante toda mi vida lo único que he querido es hacer se sientan orgullosos y asegurarme de que sepan que sus sacrificios no se dieron por sentados.

A mi hermana Jessica por haberle dado la vida a mi más grande inspiración, mi sobrina Victoria, y a mi hermana Lisseth, que de una u otra forma me ha brindado su apoyo, regalándome sus risas y enojos.

Noemí Gissela Zhirzhán Abad.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y a nuestros padres por habernos acompañado y guiado en la trayectoria de nuestra carrera, por brindarnos fortaleza en los momentos de debilidad, una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Presentamos nuestra más sincera gratitud a la Universidad de Cuenca, por habernos dado la oportunidad de crecer y alimentar nuestros conocimientos, formándonos como líderes y profesionales deseosos de formar parte activa en el desarrollo del Ecuador.

Un especial agradecimiento y reconocimiento al Ing. Nelson Navarro PhD. Director de tesis, por su constante y valiosa colaboración en este trabajo de titulación, por todo el conocimiento transmitido durante este tiempo, y por enseñarnos que el esfuerzo y la responsabilidad tienen siempre sus frutos. Al Ing. Julver Pino MSc, por su valioso apoyo, que ha permitido culminar con éxito el presente trabajo. Al Ing. Esteban Pacheco MSc, por el apoyo y ayuda incondicional en el trayecto de nuestra formación académica.

Y finalmente agradecemos a nuestros compañeros y compañeras, especialmente a aquellas con las que pudimos compartir experiencias universitarias y también personales, convirtiéndose en amigas y confidentes que perduraran siempre en nuestras vidas.



CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

En países que presentan un mayor desarrollo en la rama de la ingeniería estructural, se han buscado alternativas que permitan mejorar el comportamiento de los diferentes elementos estructurales ante la acción de diferentes cargas. Una de las soluciones que se han ido implementando con el paso del tiempo ha sido la utilización de elementos prefabricados.

De acuerdo a las condiciones del lugar donde se desea aplicar estos elementos y al sistema constructivo que se plantea, se pueden aplicar elementos prefabricados de hormigón, pre-tesados o post-tesados, conformados en obra o en planta.

Las estructuras de hormigón armado conformadas en sitio, resultan generalmente monolíticas y continuas si así lo determina la distribución del acero y el hormigonado, según el diseño estructural. Por el contrario las estructuras prefabricadas constan de un gran número de elementos prefabricados que se deberán conectar en sitio para conformar la estructura final. En los primeros tiempos de la construcción prefabricada los diseñadores tienden a utilizar únicamente uniones articuladas, que son más fáciles de construir, con el objetivo de permitir que las variaciones dimensionales producto de la retracción y temperatura no causen fuerzas de reacción especialmente en las uniones. El uso de uniones articuladas podría conducir a estabilidad insuficiente contra fuerzas laterales de vientos y sismos, por esto, para garantizar uniones rígidas y un alto grado de continuidad en la estructura, se debe conformar nudos que sean capaces de transmitir las tensiones de tracción, compresión y cortantes. Lo anterior coincide en [1].

Para el desarrollo de ese trabajo de titulación se tendrá en consideración Losas TT de sección constante y de sección variable en los extremos, en longitudes de 6m, 8m, 10m y 12m, en las que se procederá a demostrar la mayor



efectividad de la alternativa de Losas TT de sección variable en los extremos. Por este motivo se presentan a continuación algunos estudios sobre losas y vigas de diferentes secciones, longitudes y tipos de uniones entre elementos, que se han realizado hasta la actualidad.

En México, se han planteado alternativas similares a las que analizaremos en el desarrollo de este trabajo de titulación, las cuales consisten en un sistema de “Trabes Acarteladas de Concreto Reforzado” (TACR) para el diseño de edificios de dimensiones importantes. El sistema TACR presenta ventajas sobre las trabes de concreto de sección constante como: el incremento de la rigidez lateral, reducción del peso del elemento, reducción de la altura de entrepiso, disminución de la cantidad de concreto y mayor facilidad para la ubicación de las diferentes instalaciones. [2]. Estas ventajas seguirán siendo aprovechadas en la actualidad puesto que en México y otros países sigue usando este sistema pero con variaciones en cuanto a la geometría de los elementos.

Se conoce además, que en el “X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica” en México, se trataron temas sobre el comportamiento que presentan las trabes acarteladas de concreto reforzado ante cargas sísmicas. Este tema tenía como objetivo modelar aproximadamente la rigidez elástica de elementos de sección variable, para lo que se utilizaron hasta 5 elementos prismáticos de diferente peralte como una representación asumida equivalente a la sección variable. Los resultados experimentales mostraron que las cartelas permiten distribuir el daño dando lugar a una falla menos frágil en comparación con la falla súbita. [3]. Asumiendo el comportamiento individual de este tipo de elementos, se planea una hipótesis, la cual consiste que al conformar nudos con elementos de losa TT acarteladas se mejore la distribución de esfuerzos y aumente la rigidez.

En ese mismo Congreso, también se presentaron estudios experimentales con diez vigas de sección T, con cartelas de diferentes pendientes que se encontraban simplemente apoyadas. En base a los análisis y estudios



realizados se determinó que el comportamiento y modo de falla de la trabe acartelada depende del ángulo de inclinación de la cartela [3]. Aunque este tema no será tratado en este trabajo de titulación, es importante tener en consideración la inclinación de las cartelas para los análisis y diseños de estructuras, ya que puede traer ciertos beneficios a los elementos.

En Madrid - España, en el “VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas”, se presenta el tema: “Optimización del acartelamiento de pórticos de nudos rígidos en función de su geometría”, donde se indica que los pórticos con nudos rígidos son los que se han terminado imponiendo como estructura de referencia en edificaciones para uso agrario. Después de los análisis realizados y debido a que este tipo de estructuras presentan una irregular distribución de esfuerzos, se concluye que una de las soluciones planteadas con el uso de barras de sección constante no es apropiada. Por este motivo, recomiendan el uso de acartelamientos que generan un dimensionamiento variable y que la eficacia de estas dependerá de la geometría que tenga el pórtico.[4]

En la ciudad de Cuenca – Ecuador, se planteó un tema de trabajo de graduación sobre “Diseño estructural de Losas TT pre-fabricadas pre-tensadas con extremos rígidos”, el cual explica que el objetivo de conformar extremos rígidos, es soportar los momentos negativos que surgen por la continuidad que se le asigna a los elementos. Para esto, los nudos rígidos que se consiguen mediante el diseño de losas de sección variable, donde el tramo central es de geometría constante tipo T o TT y los extremos de sección variable y macizos de hormigón, proporcionan un mejor comportamiento estructural. [5]

En la actualidad, en Cuenca – Ecuador, se construyen varios edificios de carácter social con soluciones de Losas TT de extremos acartelados (sección variable y cerrada). Un ejemplo de ellos es el “Edificio aulario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca”, en este proyecto que implica un desarrollo tecnológico, se hizo presente la facultad de Ingeniería por medio de los Projectistas Estructurales, Nelson Navarro Campos y Ángel Julver Pino.



Esta geometría permite a la estructura distribuir de manera más uniforme los esfuerzos y momentos negativos, así como resistir de mejor manera ante fuerzas laterales como los sismos y vientos. [6]

Conforme pasa el tiempo, se ha visto que la ingeniería estructural se encuentra en constante investigación y desarrollo, de tal forma que se encuentren más alternativas estructurales que permitan al diseñador determinar la solución más apropiada para cada caso que se presente.

1.2 Justificación.

Esta investigación acerca de la variación de la sección transversal en los extremos de Losas TT, se hace necesaria ya que por el auge que presenta el caso de elementos prefabricados en el Ecuador se buscan soluciones más apropiadas para conformar nudos rígidos en las estructuras, de tal forma que permitan un mejor comportamiento de las mismas ante las diferentes cargas que se presenten, en especial cargas laterales como sismos y vientos.

En nuestro medio, son pocas las soluciones que se presentan para conformar nudos rígidos que permitan una mejor distribución de los esfuerzos generados por la acción de cargas. Además, en el país y en esta ciudad de Cuenca existe la denominada “resistencia al cambio” por parte de los diseñadores, constructores y de los productores de elementos estructurales. Es por esto que se plantea la aplicación elementos prefabricados, ya que los mismos permiten reducir la aplicación de soluciones constructivas de hormigonado in situ con encofrados rústicos, así como también permite obtener una mejor calidad de cada uno de los elementos estructurales que se conforman en las plantas de prefabricados.

El tema de este trabajo de titulación, puede aportar algunas ventajas, tanto constructivas como económicas. Por la geometría que se da al elemento, se puede conformar el nudo rígido entre las losas y los elementos verticales principales, sin necesidad de aplicar elementos de encofrado, lo que al mismo



tiempo permite reducir costos y la mano de obra necesaria para la elaboración de los encofrados.

Los nudos rígidos permitirán que la estructura tenga un alto grado de continuidad y un mejor comportamiento ante cargas laterales como sismos y vientos, ya que estos generan una mejor distribución de los esfuerzos a través de la estructura. Esto se debe a que los momentos negativos serán soportados en la sección variable de los extremos de las losas (sección acartelada), mientras que los momentos positivos serán soportados por la sección TT en el centro de la losa.

La continuidad en la estructura, se hace posible dando una mayor sección de apoyo a las losas. En este caso las Losas TT, que no tendrán como apoyo únicamente la sección de sus almas, sino se conforma elementos con sección variable acartelando los extremos de las Losas TT, obteniendo de esta manera mayor sección de apoyo y mayor rigidez del elemento.

Por estas razones se ha planteado responder a ciertas preguntas como: ¿Qué tan significativo resulta la aplicación de elementos prefabricados de sección variable?, ¿Qué diferencias existe entre elementos de sección constante y los elementos de sección variable?, ¿Es óptima la aplicación de estos elementos en todo tipo de estructura?

Para responder a estas preguntas se realiza un análisis con elementos de sección variable y las de sección constante, con variantes en sus luces de 6m, 8m, 10m y 12m. Para este análisis se modelará cada una de las alternativas en el programa SAP 2000, para posteriormente realizar un análisis comparativo de las variantes en base a los resultados que se obtenga de la modelación, y de esta manera poder determinar la mejor alternativa.

1.3 Objetivo General

Determinar y evaluar el comportamiento de estructuras con muros continuos verticalmente y Losas TT, en las variantes de sección constante con extremos



abiertos y sección variable por el macizado progresivo de los extremos, en el rango de luces entre 6 y 12 metros.

1.4 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que se pretenden cumplir con el desarrollo de este trabajo de titulación son los siguientes:

- Conocer las características y parámetros principales que permitan diferenciar las Losas TT de sección constante y extremos abiertos de las de sección variable por el macizado progresivo de los extremos.
- Definir las condiciones de borde de las losas de sección constante así como las de sección variable en su participación en los nudos de la estructura.
- Determinar las cargas que tendrán acción en la estructura, considerando su ubicación en zona sísmica y que serán edificaciones destinadas para uso social.
- Construir los modelos de estructuras, con nudos de ambas variantes de extremos de Losas TT y realizar el análisis por medio del programa SAP2000.
- Contrastar los resultados del análisis estructural de ambas variantes y concluir sobre sus características principales.

1.5 Alcance y Contenido

El estudio se realizará en base a lo establecido en la NEC-11 “Norma Ecuatoriana de la Construcción”, por lo que no se considera apto para aplicar estos resultados en otros países del mundo, pero se puede seguir el estudio realizado con valores establecidos para un determinado lugar.



En este caso, se analiza la eficacia de un tipo de nudo para garantizar la continuidad de la estructura, pero no quiere decir que será la única solución estructural-constructiva para lograr los nudos planteados, por el contrario resultaría muy interesante que se plantearan nuevas alternativas.

No se considerarán diferentes secciones de losas para el análisis, ya que se ha centrado en un solo modelo "TT" que es el utilizado para conformar el "Edificio Aulario de la Facultad de Ingeniería" de las cuales se pudieron obtener los datos de sus diseños para poder realizar el análisis comparativo sobre el comportamiento de dos variantes de losas.

El análisis se realiza por medio del software SAP2000 ya que es uno de los programas de ingeniería estructural de mayor utilización. Se pueden obtener resultados más representativos por medio de otros programas que permiten una mejor aplicación del Método de los Elementos Finitos para el análisis.

1.6 Método de Investigación

Considerando que este trabajo de titulación es de carácter teórico, dentro del marco del análisis estructural, se crean modelos para aplicar en ellos el programa SAP2000 [7]. Si bien estos modelos serán conformados por Losas TT en las diferentes variantes de longitud y sección, las mismas no serán diseñadas en el desarrollo de esta investigación, ya que se tendrán a consideración elementos que ya han sido diseñados para la aplicación en obras reales, aquí asumidos como objetos de estudio.

Para la aplicación del programa SAP2000 se hace necesario definir las diferentes cargas que actúan sobre la estructura, entre ellas se encuentran: viva, de sismo y de viento, existen otras cargas como el peso propio de la estructura (carga muerta) la cual es calculada automáticamente por el programa en base a la geometría que se le dé a los elementos.



Se plantea la aplicación de este programa, ya que además de ser accesible para el desarrollo de este estudio, trabaja por medio de análisis matriciales resueltos por medio del Método de Rigidez aplicando el “Método de Elementos Finitos” (MEF). También presenta alternativas para realizar análisis estáticos así como dinámicos.

A partir de los resultados que se obtengan de la modelación, se realizará un análisis comparativo de las diferentes variantes de Losas TT, y de esta manera poder determinar la alternativa óptima para los Diseñadores Estructurales que correspondan.

1.7 Marco teórico

Este trabajo de titulación se basa fundamentalmente en conocimientos precedentes de análisis de estructuras, así como también se estudiarán los avances en cuanto a elementos prefabricados, que por no haberse estudiando explícitamente y a profundidad en el transcurso de la carrera, se ha tenido que obtener mayor información sobre sus características y los diferentes beneficios que presenta la aplicación de este tipo de soluciones Estructurales-constructivas.

Existen algunas diferencias entre el hormigón para elementos prefabricados de alta resistencia y para los conformados en obra, la principal de ellas es que la resistencia con la que se trabajan los elementos prefabricados varía, en general, entre 300 kg/cm^2 y 400 kg/cm^2 , mientras que para hormigones colados en obra se trabaja con resistencias máximas (f'_c) del orden de 300 kg/cm^2 .

Otra diferencia, radica en los elementos de acero o cables utilizados en cada caso. Para elementos de hormigón armado, generalmente, se emplean aceros según las especificaciones ASTM-A36, con límite de fluencia mínimo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. En elementos prefabricados pretensados, se aplican cables de



mayor resistencia, que referidos al código ASTM-A416, para aceros de Grado 270, equivalen a un límite de fluencia mínimo $f_y = 19000 \text{ kg/cm}^2$.

El hormigón pretensado presenta algunas ventajas como: el mejor comportamiento de la estructura bajo cargas de servicio, el control de calidad de los materiales en la construcción, reducir significativamente el agrietamiento y deflexiones; y permiten salvar luces más grandes reduciendo los peraltes de los elementos haciéndolos de esta forma más livianos.

Los elementos de hormigón pretensados, se producen tensando con gatos hidráulicos los alambres o tendones entre anclajes externos antes de colocar el hormigón. Al endurecerse el hormigón se adhiere al acero. Cuando el hormigón alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza aplicada por gatos y esa misma fuerza es transmitida por adherencia del acero al hormigón.

Además, se debe tener en cuenta que estos elementos serán construidos en fábrica y requerirán ser transportados al lugar de la obra, por lo que será necesario contar con maquinaria para el izado de los elementos.

El comportamiento de los elementos de hormigón pretensado es diferente al del hormigón armado debido a que en el pretensado, la fuerza exterior tiene que eliminar la fuerza interna de pretensado, en donde el elemento no sufre fisuras. Por el contrario el hormigón armado, una vez que alcanza el esfuerzo de fisuración del hormigón, se micro fisura; por lo tanto el hormigón deja de contribuir con su capacidad resistente a tracción y solo actúa el acero de refuerzo, de tal manera que se incrementan las deformaciones con respecto a la del pretensado. Este comportamiento, tanto de hormigón armado como de hormigón pretensado, se explica de mejor manera en la siguiente figura:

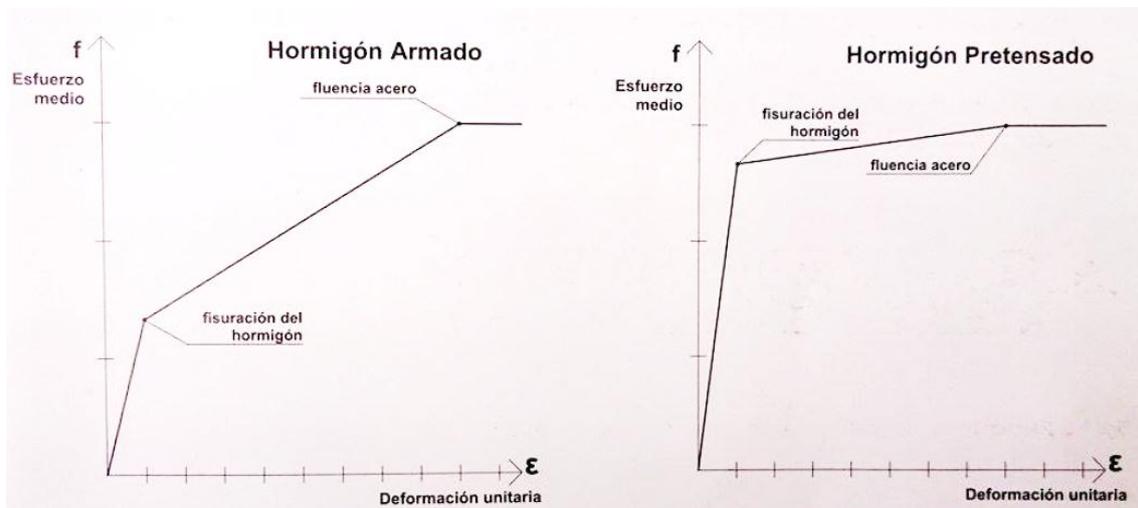


Figura 1: Curva esfuerzo deformación en Hormigón Armado y Hormigón Pretensado. Fuente: Carrasco Castro (2010). [8]

Los sistemas constructivos que aplican elementos prefabricados e incluso las soluciones particulares que no lleguen a constituir sistemas, son cada vez más usuales en la construcción en el Ecuador, sin embargo, su uso se ve limitado por la inadecuada evaluación de particularidades en el proceso de concepción de la estructura e incluso por limitaciones impuestas por los productores de prefabricados. Las ventajas de la prefabricación que la hacen más atractiva con respecto a otras soluciones constructivas, son: la reducción de tiempo en ejecución, la disminución de labores a realizarse en obra, costos favorables, menor impacto ambiental, mayor control y calidad final de los elementos.[9]

Las conexiones constituyen uno de los principales factores para la concepción y el comportamiento de la estructura, siendo también parte del proceso constructivo que se realiza in situ. La función principal de las conexiones es garantizar la transferencia de cargas y la estabilidad, de tal forma que se obtenga la adecuada interacción entre los diferentes elementos.

Las conexiones deben diseñarse para soportar y transmitir cargas gravitacionales (muertas y vivas), vientos y acciones sísmicas a las que estarán sometidas durante su vida útil. Los principales factores que se deben considerar para su diseño son: la capacidad resistente, los cambios de



volumen y movimientos, ductilidad, durabilidad, resistencia la fuego, estabilidad y equilibrio, etc. [10]

Existen innumerables soluciones de uniones, sin embargo para una descripción amplia de los tipos más comunes de unión entre elementos prefabricados, pueden consultarse, entre otros, en la siguiente referencia [11]. Inicialmente se pueden distinguir según su proceso constructivo, mediante vertido de hormigón in situ, placas metálicas para soldar, conexiones atornilladas, entre otras. El hormigonado in situ permite el planteamiento de múltiples soluciones de unión. La continuidad estructural se establece con el hormigonado in situ del nudo, dando continuidad a la armadura de momentos negativos o positivos mediante empalme de barras, son usadas generalmente en conexiones pilar-cimiento, viga-pilar y losa-muro. El solape por adherencia, soldadura, manguitos o uniones similares son mecanismos de conexión.

Para este estudio en particular, la concepción del nudo Muro-Losa TT, se diseñaron mediante el traslape de acero longitudinal y el hormigón colocado in situ, resultando interesante en el desarrollo de este trabajo de titulación la investigación de nudos entre Muro-Losa TT, con la variante de sección en los extremos de las Losas TT.

CAPITULO 2: MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

OBJETO DE ESTUDIO

2.1 Consideraciones Geométricas

Los tipos de elementos que se modelan, han sido previamente diseñados por el Ingeniero Nelson Navarro Campos, quien las aplicó en la construcción de dos importantes obras en la ciudad de Cuenca: el “Edificio Aulario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca” y el “Parqueadero Soterrado del Parque de la Madre”. Las dimensiones dadas a los elementos de Losa TT de sección constante así como las de sección variable que corresponden a las luces de las estructuras objeto de este estudio, son las siguientes:

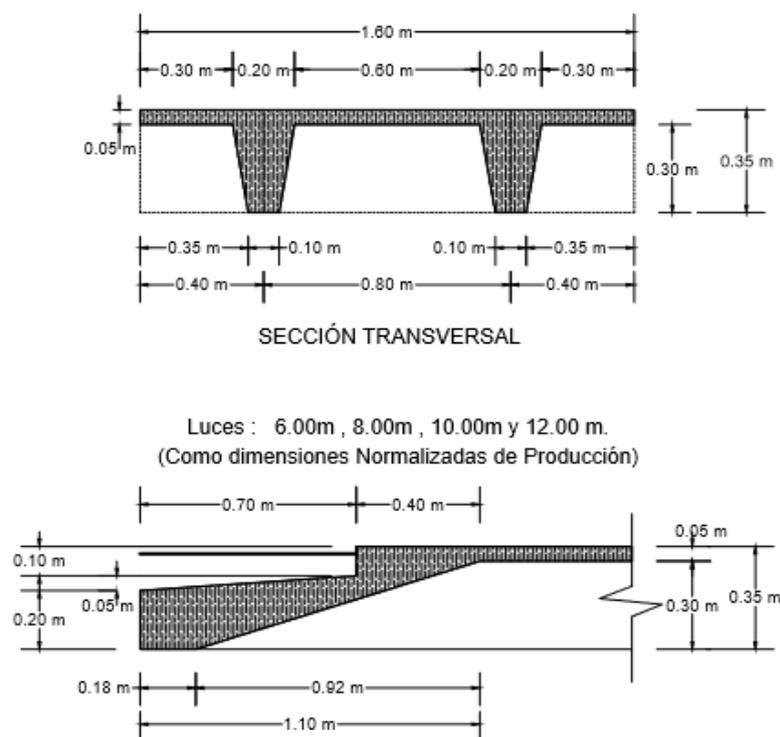
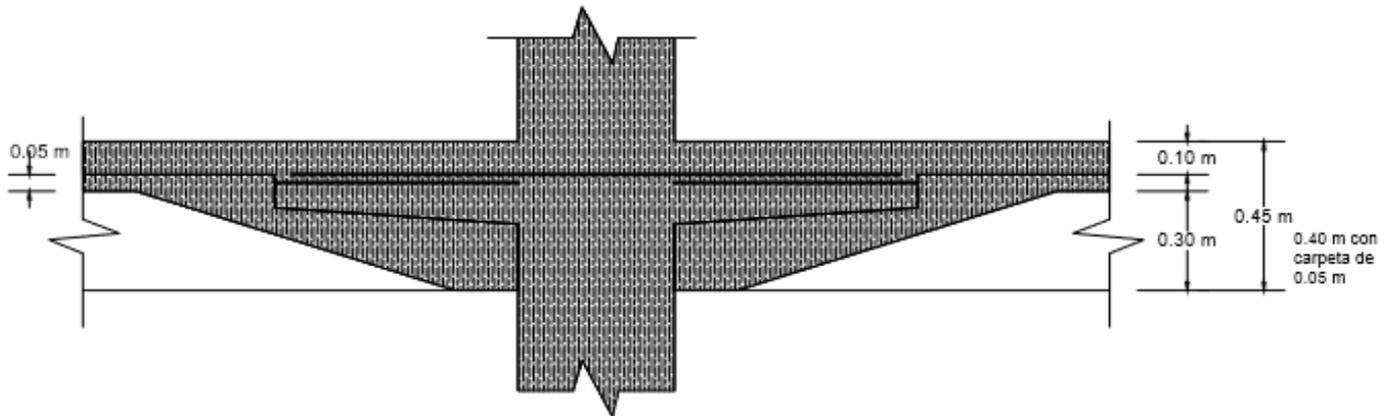


Figura 2: Losas TT con Extremos Cerrados para Edificaciones Prefabricadas – Pretensadas. Luces hasta 12,00m con peralte de 0,35m y hasta de 18,00m con peralte de 0,60m.

Dimensiones en EXTREMOS CERRADOS
 Largo de Producción: Luz - 0.5 m - b (muro o viga)



Junta Estructural (Nudos Rígidos) que se logran con los
 Extremos Cerrados de las Losas, sin encofrar en obra

Figura 3: Losas TT con Extremos Cerrados para Edificaciones Prefabricadas – Pretensadas. Luces hasta 12,00m con peralto de 0,35m y hasta de 18,00m con peralto de 0,60m.

Según las diferentes variantes de luces, (l), se conforman los pórticos de dos niveles y tres vanos. Cada nivel tiene 3,00m de altura, conformados por muros de sección constante de 0,45m de espesor, mientras que cada uno de los vanos o luces, (l), será de 6m, 8m, 10m y 12m respectivamente, constituyendo la longitud considerada para la modelación y análisis estructural, según Figura 5 y Figura 6.

A continuación se muestra un modelo general del pórtico y de las Losa TT que forman parte de él, tanto en sección constante como en sección variable producto del macizado de los extremos:

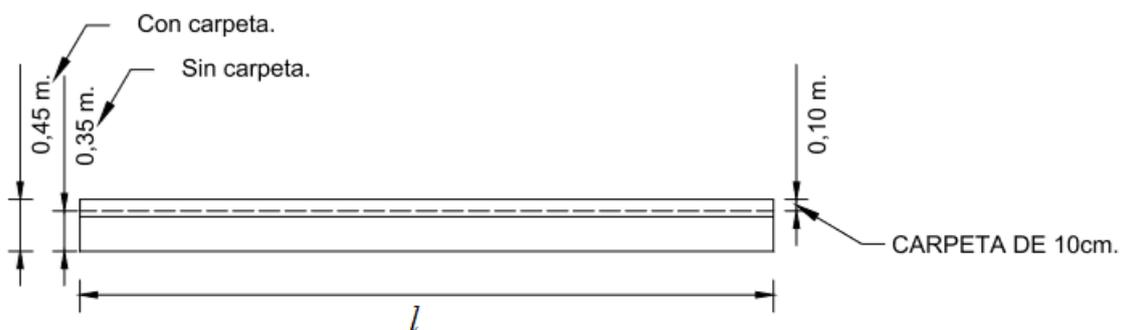


Figura 4: Losa TT de sección constante más carpeta.

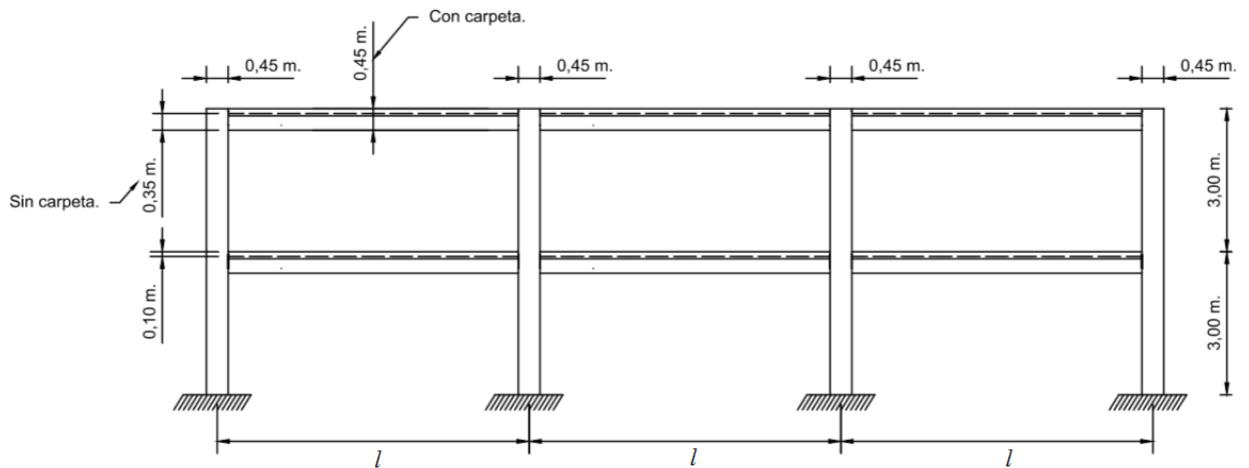


Figura 5: Pórtico conformado con Losas TT de sección constante más carpeta y muros.

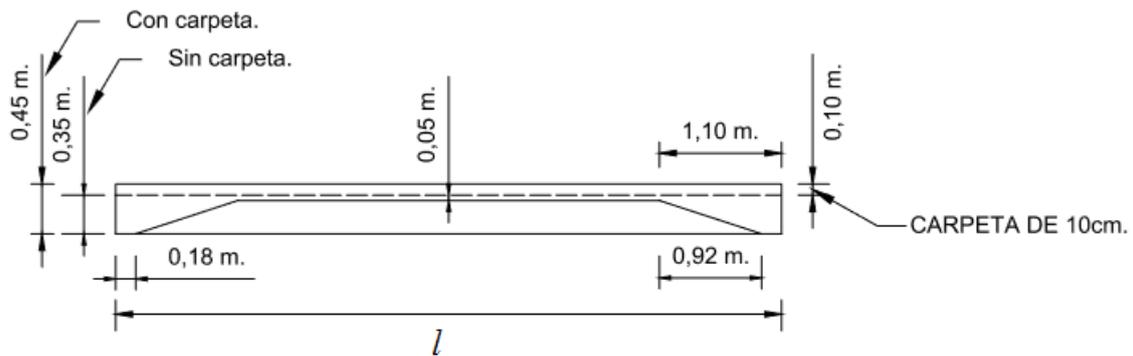


Figura 6: Losa TT de sección variable en los extremos más carpeta.

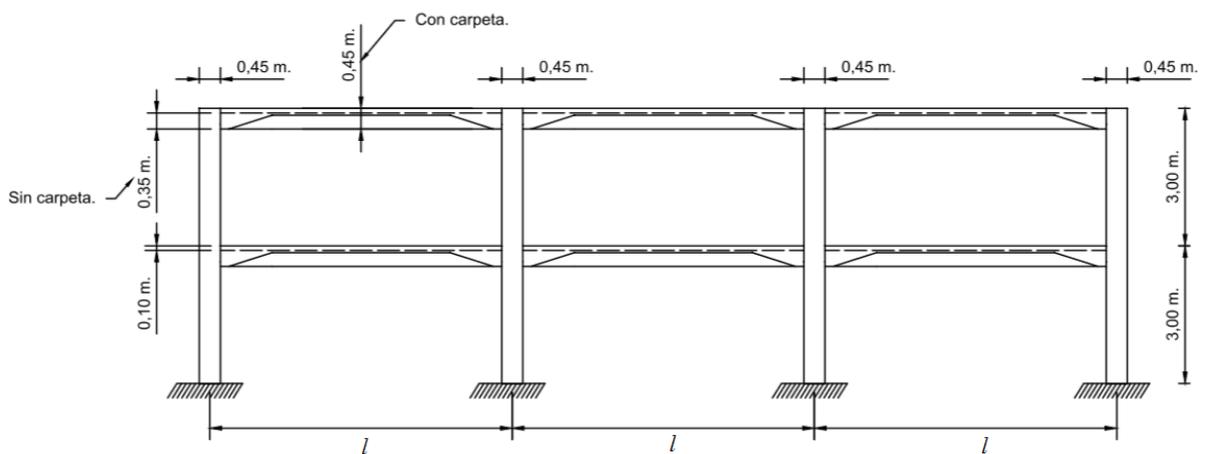


Figura 7: Pórtico conformado con Losas TT de sección variable más carpeta y muros.



Para la modelación de los elementos de una estructura reticular, se puede optar por diferentes métodos en el programa SAP2000. Dos de los más utilizados para este tipo de estructuras se describen a continuación.

Una manera es utilizando elementos “Frame”. Estos, al ser elementos lineales permiten definir diferentes tipos de secciones y obtener resultados como: el momento, el esfuerzo cortante, la fuerza axial y los desplazamientos que se generan en el elemento.

Otra forma es mediante “Sólidos”, que subdivide cada uno de los elementos en un número finito de sólidos más pequeños, para posteriormente obtener resultados de los esfuerzos generados en cada una de esas partes.

De cualquier forma que se trabaje, el programa utiliza el “Método de Elementos Finitos” para el análisis, por lo que con cualquier opción que se adoptó el uso de elementos “Frame” para la modelación, ya que este resulta menos laborioso que los “Sólidos” y los resultados que se obtienen son muy similares.

Las Losas TT de sección constante serán modeladas con una única sección en todas sus variantes de longitud (6m, 8m, 10m y 12m). Estas Losas TT, como elemento prefabricado tienen un peralte de 0.35m y en obra se le añade una carpeta de 0.1m. En hormigón de la carpeta es de igual resistencia que el de la losa $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ y su ancho será el mismo que el de ella, de 1.60m. Por tanto la sección de cálculo en el modelo será la que se muestra en la Figura 8.

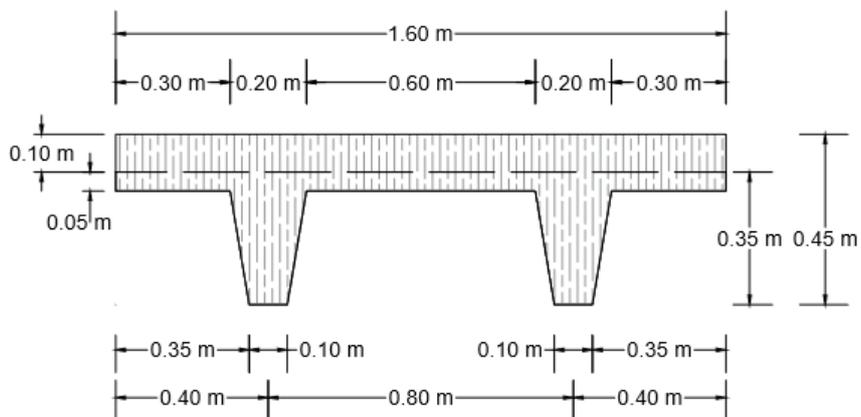


Figura 8: Dimensiones de la sección TT constante más carpeta de 0.10m.

Al aplicar elementos "Frame", no se puede conformar la variante de losa TT con los extremos acartelados con una variación constante de la sección, por lo que se ha realizado para este tramo, seis diferentes cortes de 0,18 m cada uno, excepto el último tramo que será de 0,20m como se muestra a continuación:

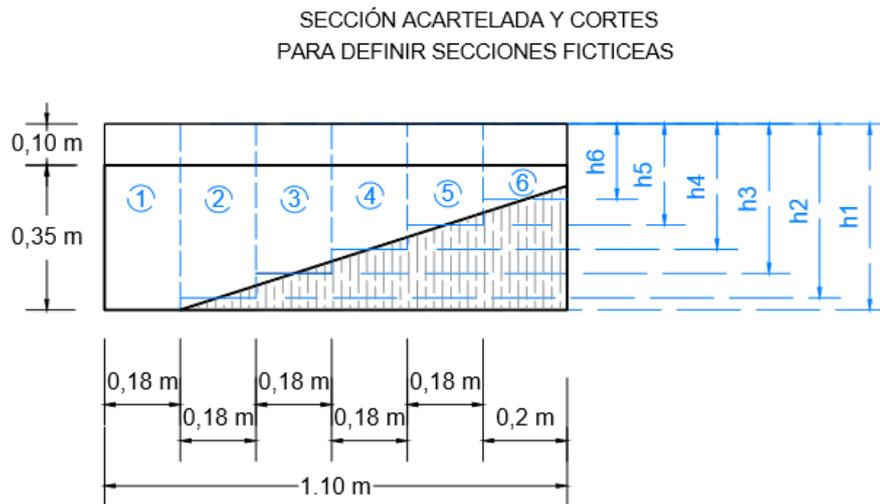


Figura 9: Dimensiones de los elementos ficticios de sección constante para modelación de la cartela de Losa TT de sección variable.

Cada uno de los elementos ficticios que se mostraron anteriormente tiene la sección transversal, incluyendo 0,10m de carpeta como se muestra a continuación:

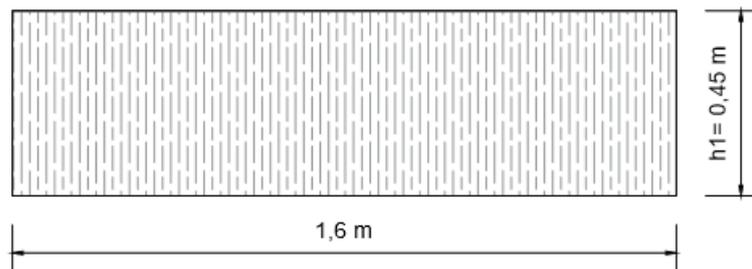


Figura 10: Sección transversal del elemento ficticio 1.

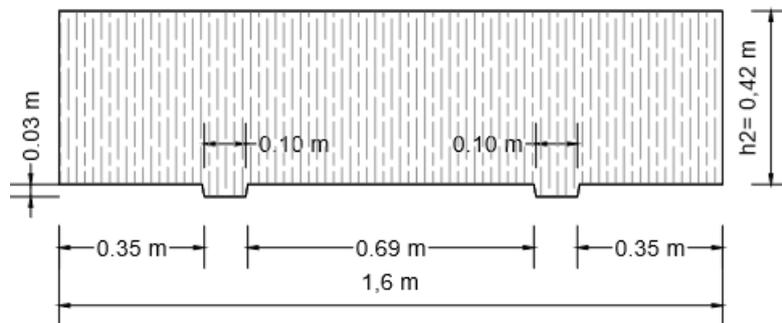


Figura 11: Sección transversal del elemento ficticio 2.

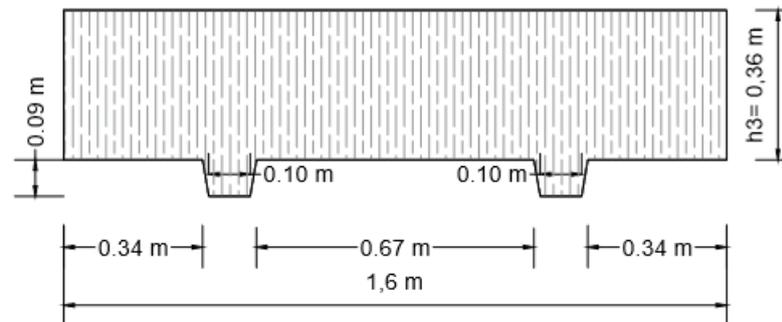


Figura 12: Sección transversal del elemento ficticio 3.

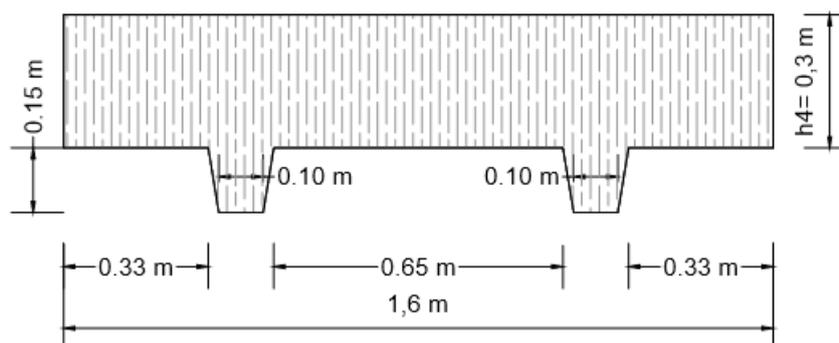


Figura 13: Sección transversal del elemento ficticio 4.

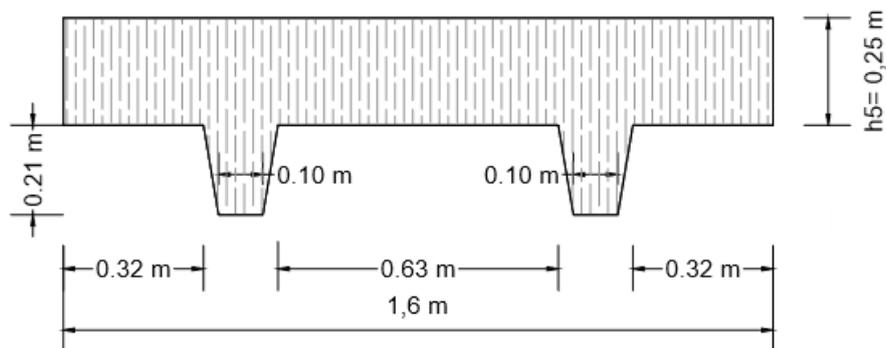


Figura 14: Sección transversal del elemento ficticio 5.

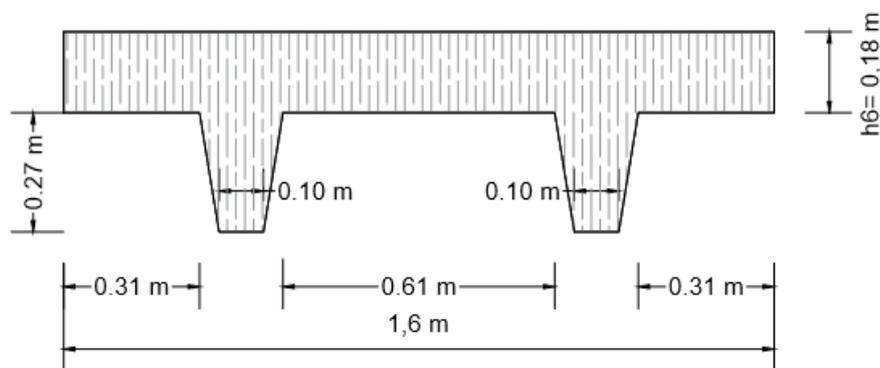


Figura 15: Sección transversal del elemento ficticio 6.

Para cada una de las variantes de longitud (6m, 8m, 10m y 12m) de Losas TT de sección variable, se trabajará con estas mismas sub-divisiones de la cartela.

2.2 Condiciones de Borde

Según las secciones consideradas en el apartado 2.1, ya sea sección constante de Losa TT o sección variable en los extremos de Losa TT, se determina la condición de borde que se aplicará en la modelación del pórtico.

En el caso de Losas TT de sección constante se asigna articulaciones a los extremos; ya que estas se encuentran simplemente apoyadas sobre ménsulas que generan una sección de apoyo relativamente pequeña con respecto a cada una de las variantes de longitud. Estas Losas TT de sección constante

generan nudos articulados con los muros, que permiten girar a los elementos como una rótula, que no son capaces de transmitir momentos flectores. Es decir, el momento que se genere en el centro de la losa será $M = ql^2/8$ y en los extremos será nulo, como se muestra a continuación:

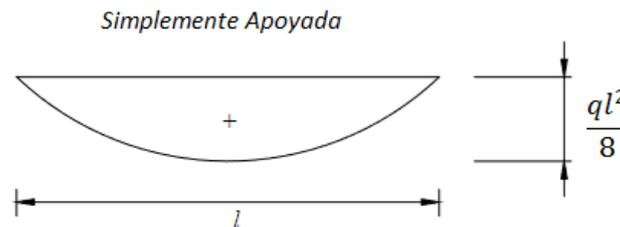


Figura 16: Gráfico de momento para un elemento simplemente apoyado.

En el caso de las Losas TT de sección variable en los extremos, por su diseño en cuanto a la distribución de momentos, garantizan continuidad en la estructura. Esto es posible ya que el macizado en los extremos de la Losa TT, integrado al muro, asume momentos negativos en los nudos. Lo anterior admite considerar los nudos de la estructura como rígidos. Es decir, los nudos giran y transmiten los esfuerzos a los elementos que lo conforman proporcionalmente a sus rigideces. Al contrario de los elementos de sección constante, el valor del momento en el centro de la losa ya no será $M = ql^2/8$, sino se distribuirá a lo largo de la Losa TT de sección variable como se muestra a continuación:

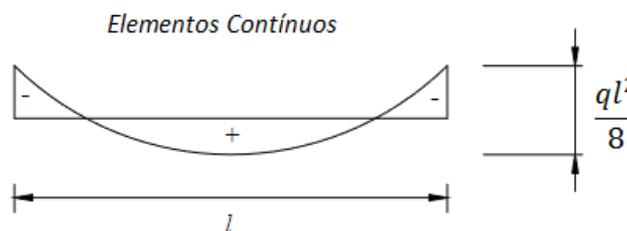


Figura 17: Gráfico de momento para elementos continuos en la estructura.

2.3 Determinación de Cargas

En este estudio, las cargas son fuerzas que actúan sobre las estructuras, que pueden llegar a afectarla si no se realiza un estudio adecuado para que las estructuras puedan resistir durante su vida útil. Las cargas pueden presentarse



en diferentes orientaciones; horizontal, vertical, inclinadas, etc., dependiendo del tipo de carga que se va a transmitir, por ejemplo las cargas sísmicas que actúan principalmente en dirección horizontal.

La estimación de las cargas depende de algunos parámetros, entre los más importantes están el diseño de la estructura, el lugar en el cual se la conformará y de las normas que se deben cumplir. Por esto, la determinación de las mismas resulta ser uno de los trabajos más importantes de los proyectistas estructurales.

Una vez que el proyectista establece las cargas que actúan sobre una estructura, se procede a establecer las combinaciones posibles y lógicas entre ellas. Existen normas como el ACI-318 [12] y la NEC-11 (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014) [14], dónde se plantean algunas combinaciones de las que el proyectista deberá determinar las más desfavorables para aplicarla sobre la estructura.

El proyectista siempre debe estar del lado de la seguridad, por lo que es importante que no se omitan cargas con cierta posibilidad de actuar en un determinado momento. Para esto, el proyectista debe ser razonable al momento de considerar las diversas combinaciones de cargas, ya que dependiendo del lugar y del tipo de estructura que se desee conformar, existirán combinaciones que no serán posibles.

Para el desarrollo de este trabajo de titulación, que es un estudio con carácter investigativo y no un diseño particular, se asumirán cargas representativas de las que deben actuar sobre el modelo en las condiciones que correspondan a las aplicaciones de alcance y contenido previsto: edificaciones sociales y viviendas en el Ecuador.

Por lo anterior planteado se considera las cargas muertas, cargas vivas y únicamente una carga en dirección horizontal, ya que el objetivo de este estudio es el análisis del comportamiento de los nudos de la estructura ante la acción de diferentes cargas, para lo cual es suficiente considerar la carga



horizontal más desfavorable que generalmente resulta ser la carga de sismo por presentar períodos más cortos de vibración en comparación con las cargas por viento, que tienen períodos más largos, permitiendo que las estructuras se vean menos afectadas ante su acción.

La evaluación de las cargas se hizo de acuerdo con la NEC-11, para el cálculo y diseño de las cargas que se describen a continuación.

2.3.1 Carga muerta

Las cargas muertas son de magnitud constante y actúan en forma estática durante la vida útil de la estructura. La mayor parte de la carga muerta es el peso propio de la estructura, por lo que se puede determinar a partir de las dimensiones de la estructura dadas por el diseño y la densidad de los materiales.

Para determinar la carga muerta de las Losas TT en cada una de sus variantes se tiene en cuenta el peso específico del hormigón armado y el volumen de la estructura.

De esta manera se obtienen los siguientes valores de carga muerta para el entrepiso, considerando la carga muerta por metro cuadrado de Losa TT, así como por metro lineal de losa TT a partir de un ancho tributario de 1.60m:

Piso	Carga Muerta	Carga Muerta (1.60m)
	kg/m ²	Kg/m
2	495	792
1	495	792

Tabla 1: Carga muerta por metro cuadrado de Losa TT y por metro lineal de Losa TT.

De esta misma forma, se considera el peso generado por las instalaciones que se realizan en las estructuras, el cual toma un valor asignado por la NEC-11:



Carga Instalaciones (NEC-11) kg/m ²	Carga Instalaciones (1.60m) Kg/m
50	80
50	80

Tabla 2: Carga muerta de Instalaciones por metro cuadrado de Losa TT y por metro lineal de Losa TT.

2.3.2 Carga viva

La carga viva o sobrecargas de uso dependen de la ocupación a la que está destinada la estructura y está conformada por los pesos de personas, muebles, equipos no fijos, etc.

Para la asignación de esta carga se tiene en consideración la NEC-11 [15], la cual establece sobrecargas mínimas para edificaciones de diferente índole.

Por lo tanto se asigna una carga viva de 4.8 kN/m² (490 kg/m²), puesto que la estructura objeto de estudio, será destinada para uso social como unidades educativas, hospitales, hoteles, entre otros. Este valor para carga viva también se expresa por metro lineal de Losa TT, considerando un ancho tributario de 1.60m.

Piso	Carga Viva kg/m ²	Carga Viva (1.60m) Kg/m
2	490	784
1	490	784

Tabla 3: Carga viva por metro cuadrado de Losa TT y por metro lineal de Losa TT.

2.3.3 Carga de viento

La carga de viento se calcula según lo estipulado en el numeral 3.2.4 de la NEC-11 [16]. Esta norma considera a la acción de la carga de viento como



presión sobre los elementos de fachada. Para determinar dicha presión se aplica la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot C_f \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- P Presión de cálculo expresada en Pa. o N/m^2
- ρ Densidad del aire expresada en K/m^3
- V_b Velocidad corregida del viento en m/s
- C_e Coeficiente de entorno/altura
- C_f Coeficiente de forma

La velocidad corregida del viento se determina por medio de la siguiente ecuación establecida en la NEC-11 (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

$$V_b = \sigma * V \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- V Velocidad instantánea máxima del viento
- σ Coeficiente de corrección. Depende de la altura y de las características topográficas y/o de edificación del entorno (nivel de exposición al viento), (NEC- 11).



Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Tabla 4: Valores para el Coeficiente de Corrección (σ). Fuente: NEC-11 [16].

De acuerdo a lo establecido por la NEC-11, la velocidad máxima del viento no puede ser inferior a 21 m/s, por esto, para los cálculos se considera éste último valor.

$$V = 21m/s$$

Por lo tanto según la Tabla 4, se considera a la estructura como categoría A y se asume un valor mínimo de la velocidad del viento, dada a una altura de 10m, obteniendo de esta forma un coeficiente de corrección $\sigma=1$.

Sustituyendo estos valores en la (Ec. 2), se obtiene la velocidad corregida (V_b):

$$V_b = 1.00 * 21m/s = 21.00 m/s$$

A continuación, se determinan los valores del coeficiente de entorno C_e y coeficiente de forma C_f . Para ello, se aplican las tablas expuestas en a NEC-11 teniendo en cuenta las características que presenta la estructura que se analiza:



Construcción	C_e
Elementos situados en patios interiores	0,3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas	0,8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas	1,3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1,5

Tabla 5: Valores para determinación del Factor de entorno/altura. Fuente: NEC-11 [16].

Considerando que este análisis busca ser conveniente en los diversos lugares de esta ciudad de Cuenca y del país, se opta por un valor $C_e = 1.3$ obtenido de la Tabla 5; puesto que actualmente en el país, las edificaciones de enfoque social buscan espacios más amplios que permitan mayor comodidad a los usuarios. Debido a esto, las construcciones se realizan en espacios grandes, haciéndolas inicialmente construcciones aisladas con sus elementos de fachada expuestos a vientos.

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

Tabla 6: Valores para la determinación del factor de forma Cf. Fuente: NEC-11 [16]

Para determinar el valor del factor de forma (C_f), se aplica en la Tabla 6. Para ello se sabe que el modelo es una estructura totalmente vertical, por lo que el factor de forma es $C_f = 0.8$.

Por lo tanto, sustituyendo estos valores en la (Ec. 1), se obtiene un valor para la presión que actúa sobre los muros de:

$$P = 286.65 \text{ N/m}^2$$

2.3.4 Carga de sismo

El Ecuador por estar ubicado en una de las zonas de mayor riesgo sísmico del mundo, durante su historia ha sido impactado por eventos de este tipo de importantes magnitudes. Por tal motivo, expertos afirman que el país es propenso a vivir más fenómenos de esta naturaleza, presentándose un escenario de gran vulnerabilidad en infraestructura y vivienda. En la Figura 18, se indica el mapa de zonas sísmicas para propósito de diseño y los respectivos valores se encuentran especificados en la Tabla 7, tomada de la NEC-11.

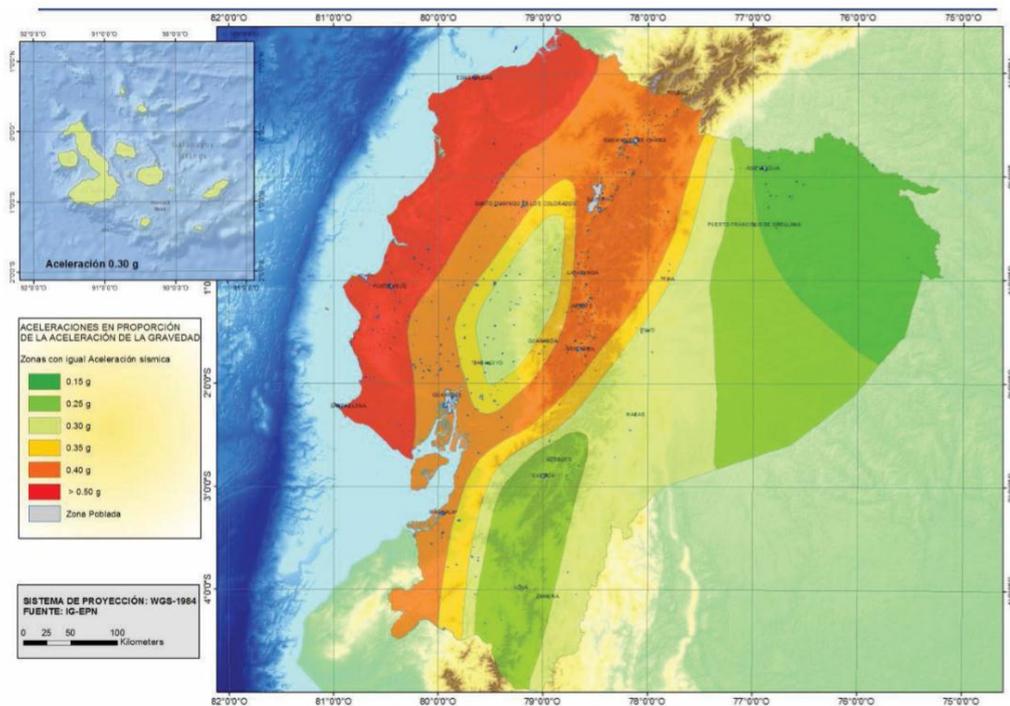


Figura 18: Mapa de zonas sísmicas del Ecuador. Fuente: NEC-11. [18]



Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 7: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. Fuente: NEC-11. [18]

Los fenómenos sísmicos actúan con movimientos de ondas vibratorias en varias direcciones, de las cuales la más peligrosa y la que siempre se debe considerar en un diseño estructural, es la que se transmite principalmente en dirección horizontal. Es por esto que las estructuras se diseñan para resistir cargas gravitacionales que transmiten compresión a la estructura así como cargas laterales para resistir esfuerzos cortantes.

Para la determinación de las cargas sísmicas existen algunos métodos, que varían dependiendo de la forma y uso que se dé a la estructura.

La metodología que se emplea para la determinación de las fuerzas sísmicas actuantes, es el método estático o fuerza lateral equivalente, que consiste en reemplazar la acción provocada por el sismo en la estructura por una fuerza lateral equivalente a dicho efecto. Esto reduce el esfuerzo computacional y la labor de interpretar los resultados en el análisis sísmico de la estructura sin afectar su calidad.

Para cuantificar la magnitud de estas cargas se debe seguir el procedimiento establecido en la NEC-11[17], el cual consiste en determinar inicialmente el valor de cortante basal de diseño, y posteriormente realizar el cálculo de las fuerzas equivalentes.

El cortante basal de diseño (V), se aplica en la estructura en una dirección especificada, y se determina mediante la siguiente expresión:



$$V = \frac{I Sa(Ta)}{R \phi_e \phi_p} * W$$

Ec. 3

Donde:

$Sa(Ta)$	Espectro de diseño en aceleración
ϕ_e y ϕ_p	Coefficientes de configuración en planta y elevación
I	Coefficiente de importancia
R	Factor de reducción de resistencia sísmica
V	Cortante basal total de diseño
W	Carga sísmica reactiva
Ta	Período de vibración

Se debe establecer el valor de cada uno de estos componentes según las condiciones de selección dadas en la NEC-11. [17]

- Coeficiente de Importancia I :

Se establece el valor del coeficiente de importancia (I), según el fin de uso de la estructura, para ello se establecen tres categorías diferentes en la Tabla 8:

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 8: Tipo de uso, destino e importancia de la Estructura. Fuente: NEC-11. [19]



El propósito del factor I , es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia, deben permanecer operativas o sufrir daños menores durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño. Considerando que este análisis es para estructuras con fines sociales; es decir hospitales, centros educativos, etc., se establece un valor para el factor (I) de 1.5.

- Períodos de vibración (T)

El período de vibración aproximado de la estructura (T), para cada dirección principal, es estimado a partir de la expresión:

$$T = Ct(hn)^\alpha \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

- hn Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.
- Ct Coeficiente que depende del tipo de edificio.

Los valores de los coeficientes para "Pórticos especiales de hormigón armado con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural" se toman de la Tabla 9, donde $Ct = 0.055$ y $\alpha = 0.75$

Entonces, sustituyendo estos valores en la (Ec. 4), el período de vibración es:

$$T = 0.211 \text{ seg}$$



Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Tabla 9: Coeficientes C_t y α según el tipo de estructura. Fuente NEC-11. [20]

- Espectro de diseño en aceleración (S_a).

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones (S_a), expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, es consistente con:

- Factor de zona sísmica
- Tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura
- Consideración de los valores de los coeficiente de amplificación del suelo F_a, F_d, F_s .

Este espectro, que obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para períodos de vibración estructural (T_a) perteneciente a 2 rangos:

$$S_a = \eta z F_a \quad \text{Para } 0 \leq T \leq T_c \quad \text{Ec. 5}$$

$$S_a = \eta z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{Para } T > T_c \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

- z Factor de zona sísmica. Cada lugar o región está dividida en diferentes zonas sísmicas, las cuales están demarcadas según la aceleración del suelo. Toda estructura a ser diseñada deber tener



asignada un factor de zona sísmica z , de acuerdo con la Tabla 7, se escogió un valor promedio de este factor de acuerdo a las ubicaciones donde la caracterización de la amenaza sísmica sea alta; es decir $z = 0.4$.

η Razón entre la aceleración espectral (Sa) y la aceleración sísmica máxima del terreno (PGA - Peak Ground Acceleration) para el período de retorno seleccionado. Este valor varía dependiendo de la región del Ecuador, por esto se tomó $\eta = 2.48$, para las provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

r Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores depende de la ubicación geográfica del proyecto. Donde $r = 1$, para tipo de suelo A , B o C y $r = 1.5$, para tipo de suelo D o E . En este estudio se considera un suelo del Tipo B (ver Tabla 10).

T_C, T_L Los límites para el período de vibración T_C y T_L en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representan el sismo de diseño, se obtienen de las siguientes expresiones:

$$T_C = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ec. 7}$$

$$T_L = 2.4 F_d \quad \text{Ec. 8}$$



Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Tabla 10: Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico. Fuente: NEC-11. [21]

- Coeficientes de amplificación dinámica de perfiles del suelo

En la Tabla 11, se representan los valores de los coeficientes (F_a), coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro de respuesta elástica de aceleraciones para diseño en roca, teniendo en cuenta los efectos de sitio en el rango de períodos cortos.



Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 11: Tipo de suelo y factores de sitio F_a (zona de períodos cortos). Fuente: NEC-11. [22]

En la Tabla 12, se representan los valores del coeficiente (F_d), que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca considerando los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 12: Tipo de suelo y Factores de sitio F_d (zona períodos intermedios). Fuente: NEC-11. [22]

En la Tabla 13, se representan los valores del coeficiente (F_s), que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.



Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 13: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s . Fuente: NEC-11. [22]

Nota: Para suelos Tipo F no se proporcionan valores de F_a , F_d ni F_s , debido a que requieren un estudio espectral, conforme lo estipula la NEC-11. [22]

Por lo tanto, los valores determinados para este estudio son:

$$F_a = 1 \quad F_d = 1 \quad F_s = 0.75$$

Entonces los límites para el período de vibración son: $T_c = 0.41 \text{ seg}$ y $T_L = 2.4 \text{ seg}$

Ahora, la ecuación válida para este período de vibración es $S_a = \eta z F_a$, haciendo que el espectro de diseño en aceleración tome un valor de:

$$S_a = 0.992$$

- Factor de Reducción (R).

El factor (R) permite una reducción de la fuerza sísmica de diseño, lo cual es permitido ya que las estructuras y sus conexiones se deben diseñar para desarrollar un mecanismo de falla previsible y con adecuada ductilidad.

El valor de (R) para sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado, obtenido de la Tabla 14, es $R = 5$.



Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Tabla 14: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles. Fuente: NEC-11. [23]

Conceptualmente es importante el uso de este coeficiente, pues permite observar claramente al diseñador una hipótesis fundamental del cálculo sismo-resistente, el cual, consiste en disminuir substancialmente la ordenada elástica espectral, exigiendo un diseño que permita disponer de un adecuado comportamiento inelástico durante el sismo de diseño, proveyendo así la adecuada ductilidad y disipación de energía suficientes que impidan el colapso de la estructura ante eventos sísmicos severos.

- Coeficientes de configuración estructural (ϕ_e) y (ϕ_p).

Estos coeficientes incrementan el valor del cortante de diseño, con la intención de proveer de mayor resistencia a la estructura, pero no evita el posible comportamiento sísmico deficiente de la edificación. Se recomienda evitar la presencia de irregularidades en planta como en elevación. Los diseñadores arquitectónicos y estructurales deben procurar que la configuración de la estructura sea simple y regular para lograr un adecuado desempeño sísmico.

Los coeficientes de configuración estructural en planta y elevación, (ϕ_p) y (ϕ_e), respectivamente, para este estudio se toman de la Tabla 15, puesto que las características de la estructura son regulares se considera los siguientes coeficientes:

$$\phi_e = 1 ; \phi_p = 1$$

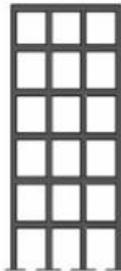
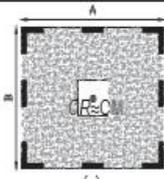
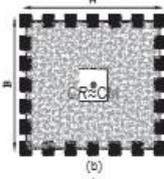
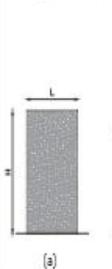
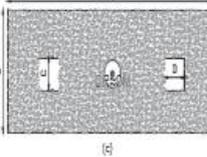
CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN $\phi_e=1$		CONFIGURACIÓN EN PLANTA $\phi_p=1$	
La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas aporricados, es constante en todos los niveles. $\phi_e=1$		La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al Centro de Masa. $\phi_p=1$	 
La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional. $\phi_e=1$	 		

Tabla 15: Configuraciones estructurales recomendadas. Fuente: NEC-11. [24]

- Carga Sísmica Reactiva (W).

La carga sísmica reactiva (W), representa la carga reactiva por sismo y es igual a la carga muerta total de la estructura más un 25% de la carga viva de piso. [25]

Según la configuración estructural de cada variante de los pórticos en estudio y según el tipo de Losa TT a utilizar, se realiza el cálculo respectivo para obtener el valor de la carga sísmica reactiva (W), asumiendo el 100% de la Carga Muerta más un 25% de la Carga Viva.



Valor de W (Carga Sísmica Reactiva)	
Longitud de Losas TT (sección constante)	C.M. + 25%C.V. kg
6 metros	80064
8 metros	92928
10 metros	105792
12 metros	118656

Tabla 16: Carga Sísmica Reactiva de las edificaciones conformadas por Losas TT de sección constante.

Valor de W (Carga Sísmica Reactiva)	
Longitud de Losas TT (sección variable)	C.M. + 25%C.V. kg
6 metros	87120
8 metros	99984
10 metros	112848
12 metros	125712

Tabla 17: Carga Sísmica Reactiva de las edificaciones conformadas por Losas TT de sección variable.

Sustituyendo los respectivos valores de los coeficientes analizados en la (Ec. 3), se obtiene el valor del Cortante Basal para los pórticos en estudio diferenciadas por la longitud y sección de la Losa TT en estudio.

$$V = \frac{I Sa(Ta)}{R \phi_e \phi_p} * W$$

$$V = 0,3 * W$$

Esto representa, que el valor del Cortante Basal es el 30% de la carga total vertical. En esta última expresión se sustituyen los valores de la carga sísmica reactiva obtenida anteriormente, para obtener los siguientes resultados:



Valor de V (Cortante Basal de Diseño)	
Longitud de Losas TT	V kg
6 metros	23827
8 metros	27655
10 metros	31484
12 metros	35312

Tabla 18: Cortante Basal de Diseño de las edificaciones conformadas por Losas TT de sección constante.

Valor de V (Cortante Basal de Diseño)	
Longitud de Losas TT	V kg
6 metros	25927
8 metros	29755
10 metros	33584
12 metros	37412

Tabla 19: Cortante Basal de Diseño de las edificaciones conformadas por Losas TT de sección variable.

Después de haber obtenido estos resultados, se procede a determinar las fuerzas laterales totales, las que deben ser distribuidas en la altura de la estructura, mediante la siguiente expresión tomada de la NEC-11. [26]

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} * V \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

- V Cortante basal.
- F_x Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura.
- n Numero de pisos de la estructura.
- W_x Peso asignado al piso o nivel x de la estructura.
- W_i Peso asignado al piso o nivel i de la estructura.
- h_x Altura de piso x de la estructura.



h_i Altura de piso i de la estructura.

k Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T .

Esta ecuación está conformada en dos términos, los que para este trabajo de titulación se consideran de la siguiente manera:

$$C_{vi} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$$

$$Fx = C_{vi} * V$$

Donde:

C_{vi} Coeficiente de repartición de la fuerza sísmica según el nivel en la estructura.

Según lo estipulado en la Tabla 20 tomada de la NEC-11, el coeficiente (k) tiene un valor igual a 1.

$$k = 1$$

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2

Tabla 20: Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T . Fuente: NEC-11. [26]

La magnitud determinada para las fuerzas equivalentes, actúan en el suelo donde se emplazará la edificación y se transmite a la estructura con un valor de 0 en la base, y su valor aumenta en cada uno de los niveles de piso; por lo tanto su mayor valor será en el último nivel.

Las fuerzas laterales equivalentes obtenidas, se aplicaran en cada nivel de la estructura, en su respectivo centro de masa del elemento vertical, como se muestra en la Figura 19 y Figura 20:

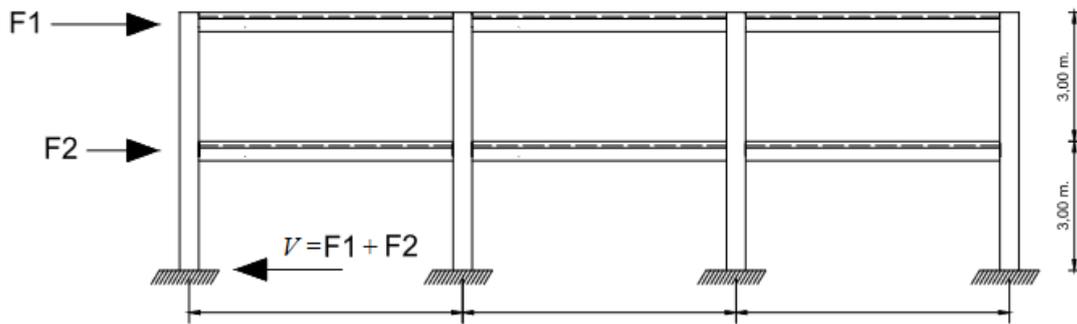


Figura 19: Distribución de las fuerzas sísmicas equivalentes en Pórtico conformado por Losas TT de sección constante.

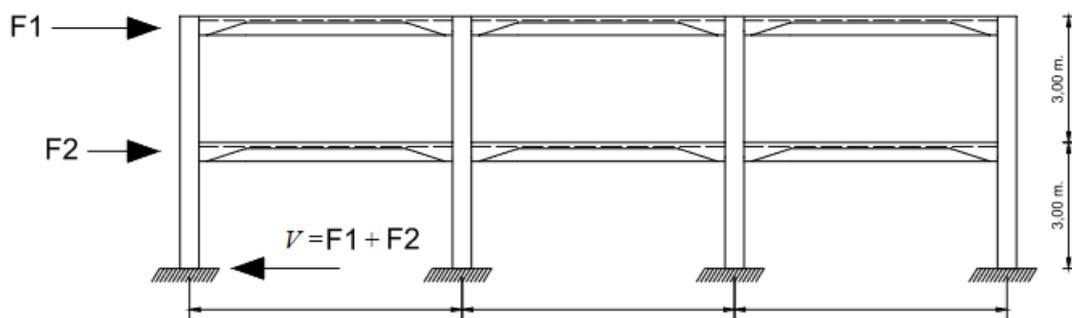


Figura 20: Distribución de las fuerzas sísmicas equivalentes en Pórtico conformado por Losas TT de sección variable en los extremos.

Las fuerzas sísmicas equivalentes obtenidas para las Losa TT de sección constante y sección variable, en sus diferentes variantes de luz, se muestran a continuación en la Tabla 21 y Tabla 22.

Fuerzas Laterales Equivalentes				
Longitud	6 (m)	8 (m)	10 (m)	12 (m)
F1 (Kg)	7942,35	9218,46	10494,57	11770,68
F2 (Kg)	15884,70	18436,92	20989,13	23541,35

Tabla 21: Fuerzas Sísmicas Equivalentes en Losas TT de sección constante, variantes de luz de 6m, 8m, 10m y 12m.

Fuerzas Laterales Equivalentes				
Longitud	6 (m)	8 (m)	10 (m)	12 (m)
F1 (Kg)	8642,30	9918,41	11194,52	12470,63
F2 (Kg)	17284,61	19836,83	22389,04	24941,26

Tabla 22: Fuerzas Sísmicas Equivalentes en Losas TT de sección variable, variantes de luz de 6m, 8m, 10m y 12m.



2.4 Combinación de Cargas.

Las estructuras y sus elementos, se deben diseñar de tal manera que alcancen una resistencia de diseño la cual no será menor a la mínima requerida por las normas, ya sea dada por el código ACI-318 [12], o en el caso del Ecuador la NEC-11 [14]. Por esto, los valores de cargas determinadas en el apartado 2.3 deben ser mayorados para cumplir con el requisito de diseño por estados límite, cumpliendo con los códigos. En el caso del ACI-318 resulta:

$$\text{Resistencia de diseño} \geq \text{Resistencia Requerida}$$

$$\phi (\text{Resistencia nominal}) \geq U$$

Los coeficientes de mayoración que se usan para cada tipo de carga son diferentes, ya que considerando que ciertas cargas, como la viva, que toma un valor estipulado por la norma y que no necesariamente es el que estará presente en la estructura, se asigna un valor de mayoración más alto que el comúnmente utilizado para cargas muertas, ya que estas siguen un procedimiento de cálculo metódico para su determinación, haciendo justo la aplicación de un coeficiente de mayoración de menor magnitud para las cargas muertas. Es decir, cada coeficiente de mayoración dependerá de la probabilidad de ser superado, según un estudio estadístico que debe haber sido realizado para establecer en las normas.

El código ACI-318 [12], planea diferentes combinaciones de carga, según la probabilidad de ocurrencia de cada una de ellas, las cuales se muestran a continuación:

$$U = 1.4 (D + F)$$

$$U = 1.2 (D + F + T) + 1.6 (L + H) + 0.5 (L, \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U = 1.2 (D) + 1.6 (L, \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0 L \text{ ó } 0.8 W)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L, \text{ ó } S \text{ ó } R)$$



$$U = 1.2D + 1.0W + 1.0E + 1.0L + 0.2S$$

$$U = 0.9 D + 1.6 W + 1.6 H$$

$$U = 0.9 D + 1.0 E + 1.6 H$$

Donde:

- U Resistencia requerida.
- D Carga Muerta.
- L Carga Viva.
- E Carga de Sismo.
- W Carga por Viento.
- H Cargas por peso y presión del suelo.
- S Carga por granizo.
- T Contracción o retracción por Temperatura.
- R Cargas debidas a lluvias
- F Carga debida a los líquidos o presión lateral de los mismos.
- L_r Sobrecarga Cubierta (Carga viva).

Para este trabajo de titulación se consideran la siguiente combinación de cargas, teniendo en cuenta el grado de probabilidad de ocurrencia de las mismas.

$$U = 1.2 (D + F + T) + 1.6 (L + H) + 0.5 (L_r, \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U = 0.9 D + 1.0 E + 1.6 H$$

Asumiendo, que no se analizarán las cargas F, T, H, L_r, S y R , se trabaja con la siguiente combinación:



$$\text{COMBINACION DE CARGAS 1: } U = 1.2 (D) + 1.6 (L)$$

Además se considera una combinación en la que se involucre la carga de sismo, según se ha calculado atendiendo la NEC-11 [13]. Esta norma explica, que la combinación es aplicable para rehabilitación de edificios existentes, pero en general resulta apropiada su aplicación para diseño de estructuras nuevas.

$$\text{COMBINACIÓN DE CARGAS 2: } U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$$

2.5 Materiales.

Debido a que las Losas TT en estudio, se diseñaron de tal manera que se conformen como elementos prefabricados-pretensados, los materiales utilizados para su elaboración se explican a continuación.

La calidad del hormigón para elementos prefabricados-pretensados no debe ser menor a $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$, ya que este debe resistir las altas compresiones a las que se somete para disminuir las pérdidas que ocurren por la fuerza del pretensado. Es decir, en el hormigón la mayor resistencia a la compresión contribuye a menores pérdidas por deformación. El módulo de elasticidad que se considera para este tipo de hormigones se determina en base a la siguiente ecuación según el código ACI-318 [27]:

$$E_h = W_h^{1.5} * 0.14 \sqrt{f'_c} \quad \text{Ec 10}$$

Donde:

E_h Módulo de elasticidad del hormigón, Kg/cm^2

W_h Densidad del hormigón, Kg/m^3

f'_c Resistencia del Hormigón, Kg/cm^2

En base a esto, y sustituyendo los respectivos valores, se establece el valor para el módulo de elasticidad el concreto.



$$E_h = \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)^{1.5} * 0.14 \sqrt{300 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$E_h = 285105 \text{ Kg/cm}^2 .$$

El acero de preesfuerzo utilizado para conformar estos elementos, son cables de baja relajación que deben cumplir con lo estipulado en las especificaciones ASTM-A416 para aceros de Grado 270 Ksi, equivalente a un esfuerzo mínimo de rotura $f_y = 19000 \text{ Kg/cm}^2$ y un módulo de elasticidad $E_a = 2000000 \text{ Kg/cm}^2$. [28]

Los elementos prefabricados-pretensados con hormigones de alta resistencia, permiten la reducción de las dimensiones de la sección de los miembros estructurales, logrando reducir significativamente el peso propio de las estructuras y haciendo posible su uso con grandes luces.

Los pórticos que se estudian en esta investigación, se conforman del elemento de Losa TT en cualquiera de sus variantes, más 10cm de carpeta de recubrimiento, la cual en este estudio y para efectos de modelación y análisis tendrá el mismo valor de ($f'c$) que la Losa TT.



CAPITULO 3: RESULTADOS Y CONSIDERACIONES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3.1 Consideraciones para el análisis de los resultados obtenidos de la modelación en el programa SAP2000.

Los resultados que se obtienen en el programa SAP2000, al aplicarse al modelo de análisis de la estructura corresponden a las fuerzas interiores: momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerzas axiales, tanto en sus respectivos valores numéricos como representados gráficamente. Además, este programa da los desplazamientos de las secciones de los elementos o barras.

Los gráficos de momentos flectores diferencian los valores positivos de los negativos por medio de colores y su respectivo signo. En el caso del momento positivo (+) que tracciona las fibras inferiores y comprime las superiores en el elemento considerado, se marcan con color azul, mientras, que para el momento negativo (-) que tracciona las fibras superiores y comprime las inferiores en el elemento considerado, se marcan de color rojo.

Para el caso de los gráficos de fuerza cortante se diferenciará de la misma forma, a valores positivos con color azul y valores negativos con color rojo.

Los gráficos de fuerza axial se diferenciarán de compresión y tracción según colores y signos, para el caso de tracción se asigna los valores con signo positivo y se utiliza color azul, mientras que para el caso de la compresión se asigna los valores con signo negativo y se utiliza color rojo.

Para la obtención de estos resultados, las cargas por metro lineal que se aplican al modelo de análisis consideran un ancho tributario de 1.60m, y son las obtenidas en el apartado 2.3.



En el caso de los desplazamientos, únicamente se tabulará los resultados para posteriormente compararlos entre las diferentes variantes de sección y longitud de Losas TT.

3.2 Análisis de las Losas TT de sección constante.

El análisis se realiza aplicando las Combinaciones de Cargas 1 y 2, que fueron determinadas en el apartado 2.4, variando las luces en 6m, 8m, 10m y 12m para cada tipo de Losa TT de sección constante. En cada variante se obtienen diferentes resultados de momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerzas axiales, las cuales se analizarán en el siguiente capítulo.

3.2.1 Losas TT de Sección Constante con 6m de luz.

Se considera inicialmente la Combinación de Cargas 1: $U = 1.6L + 1.2D$, la cual aplicada en el Modelo de Análisis y ejecutada mediante el programa SAP2000, da los siguientes resultados:

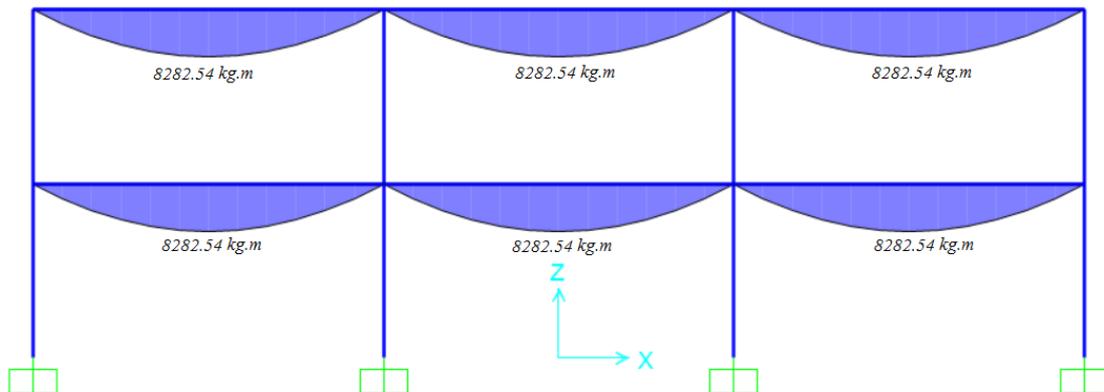


Figura 21: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

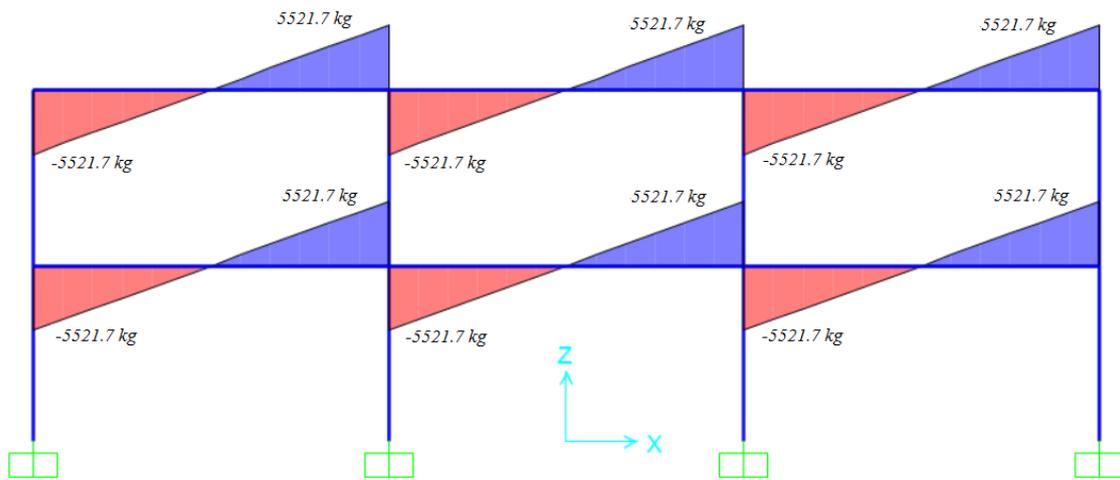


Figura 22: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

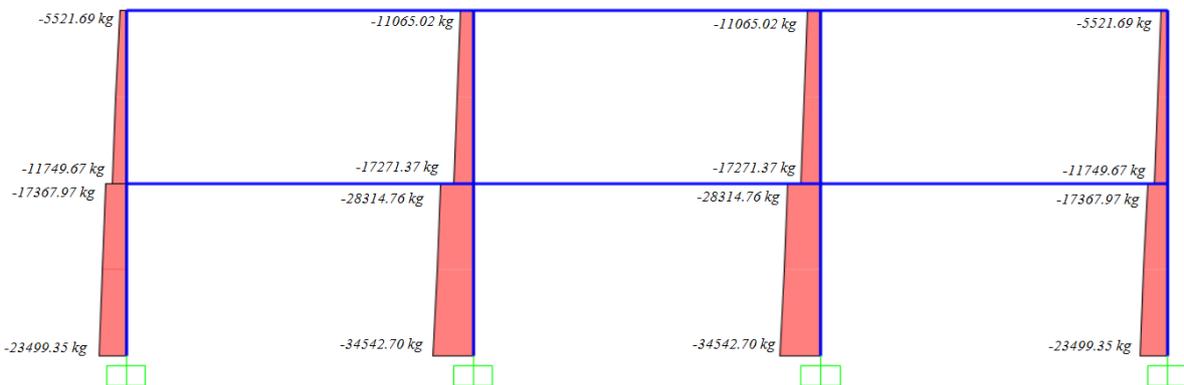
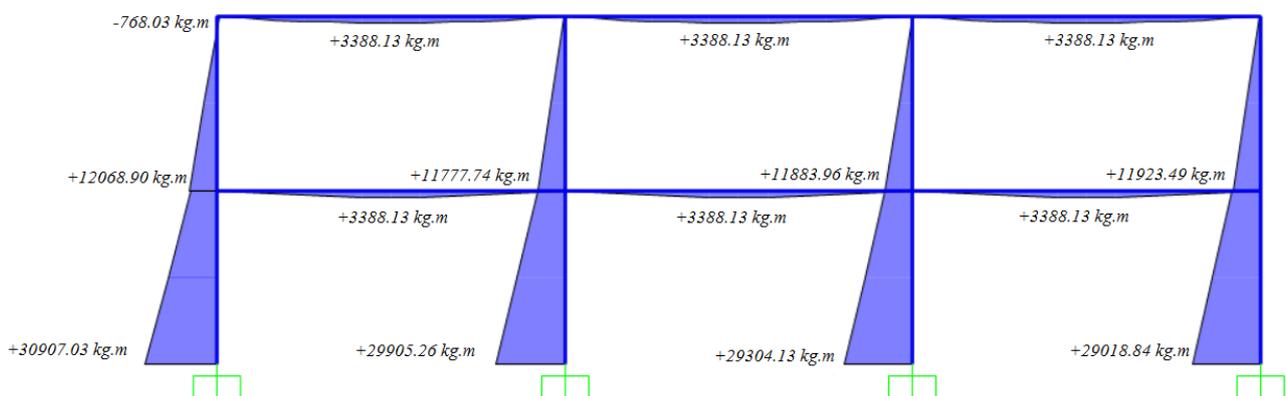


Figura 23: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al aplicaren en el Modelo





de Análisis la Combinación de Cargas 2: $U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$:

Figura 24: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

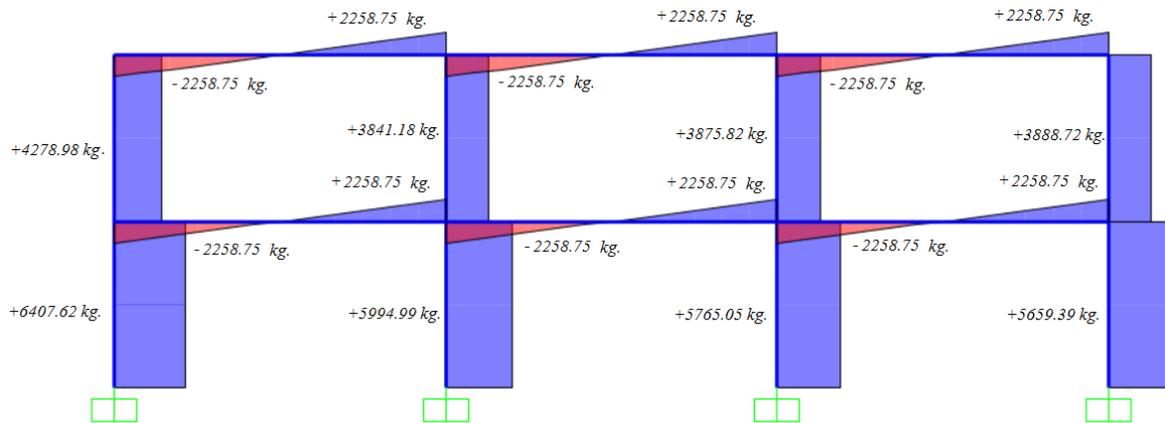


Figura 25: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.



Figura 26: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

3.2.2 Losas TT de Sección Constante con 8m de luz.

Se considera inicialmente la Combinación de Cargas 1: $U = 1.6L + 1.2D$, la cual aplicada en el Modelo de Análisis y ejecutada mediante el programa SAP2000, da los siguientes resultados:

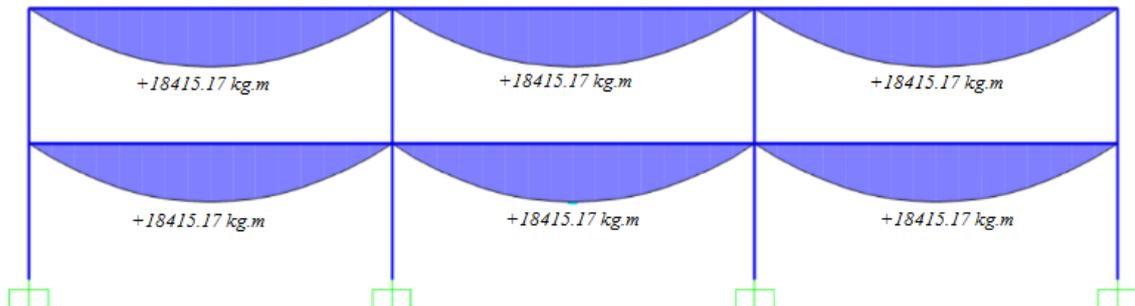


Figura 27: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

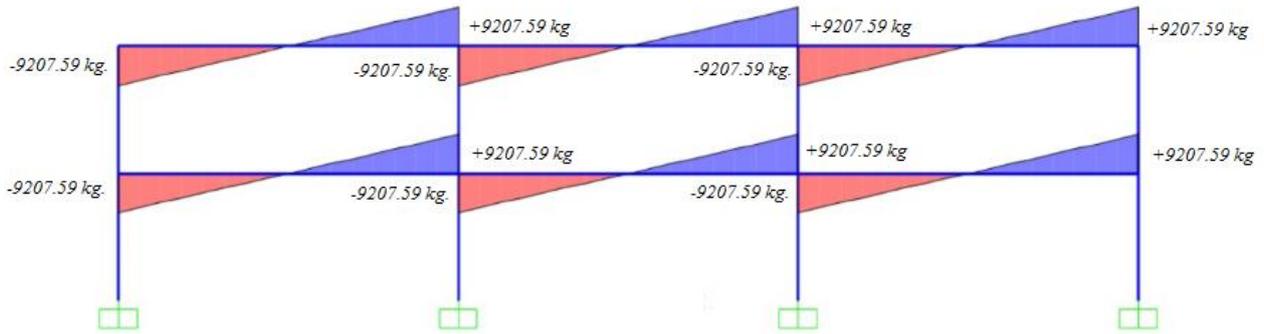


Figura 28: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.



Figura 29: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar en el Modelo de Análisis la Combinación de Cargas 2: $U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$:

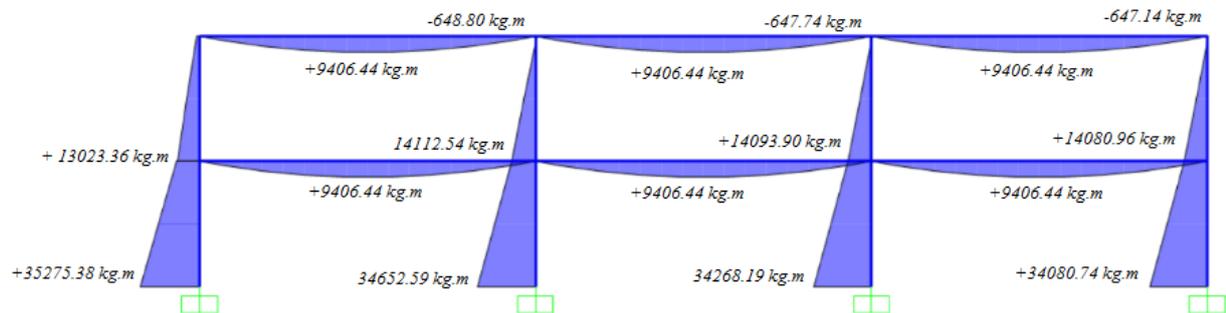


Figura 30: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

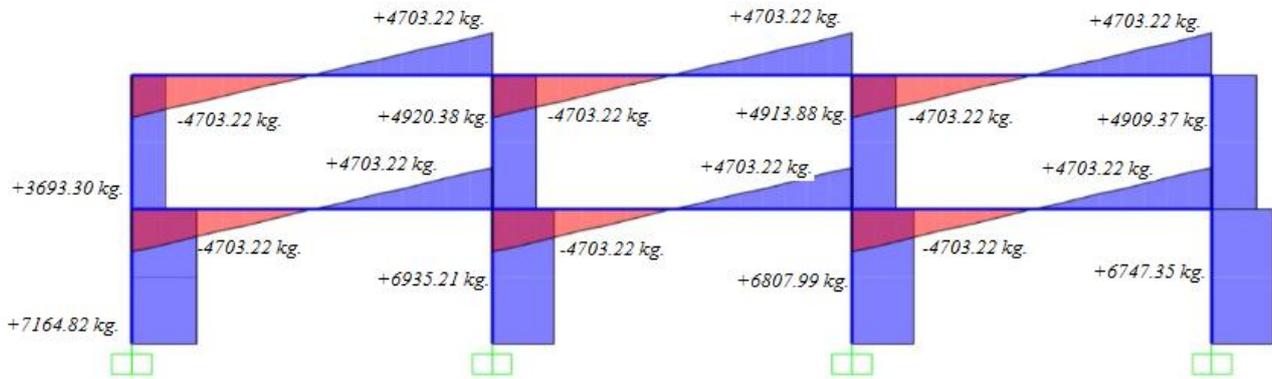


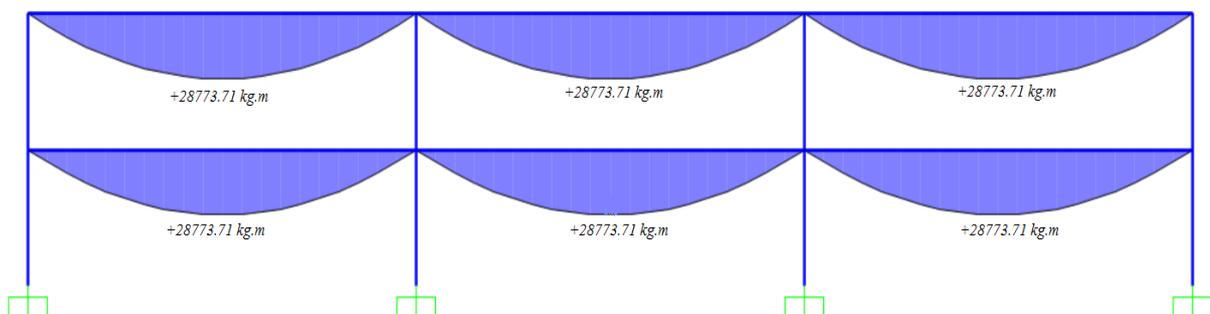
Figura 31: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.



Figura 32: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

3.2.3 Losas TT de Sección Constante con 10m de luz.

Se considera inicialmente la Combinación de Cargas 1: $U = 1.6L + 1.2D$, la cual aplicada en el Modelo de Análisis y ejecutada mediante el programa SAP2000,



da los siguientes resultados:

Figura 33: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

Figura 34: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

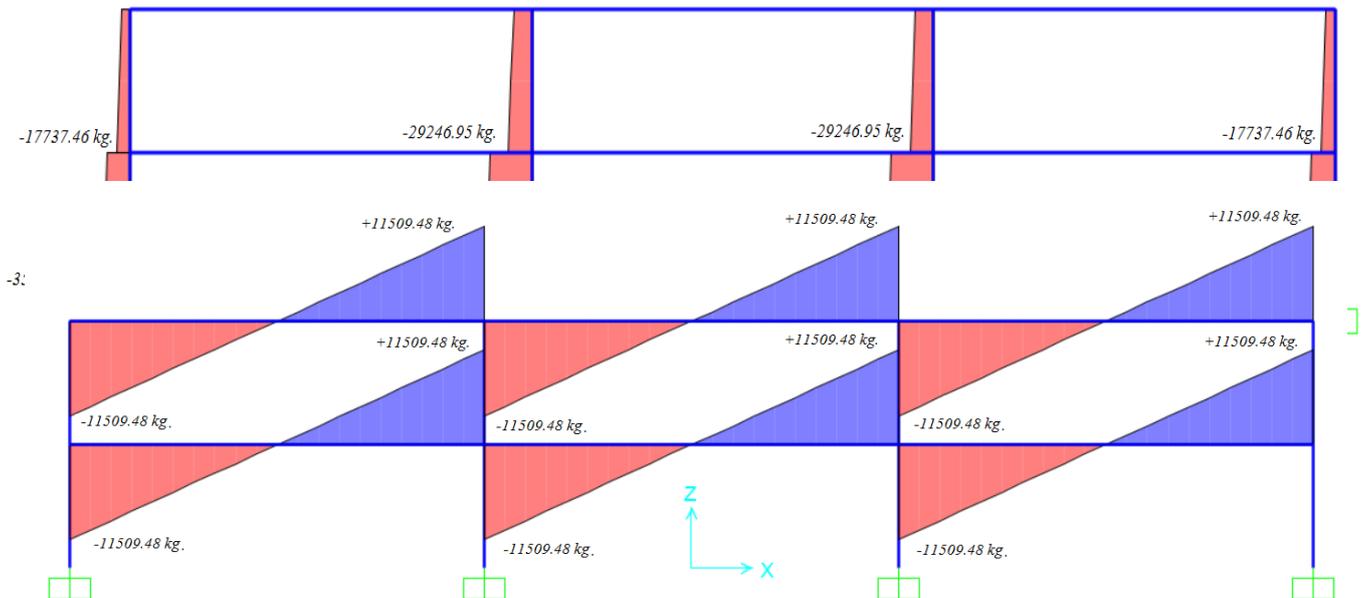


Figura 35: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al aplicar en el Modelo de Análisis la Combinación de Cargas 2: $U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$:

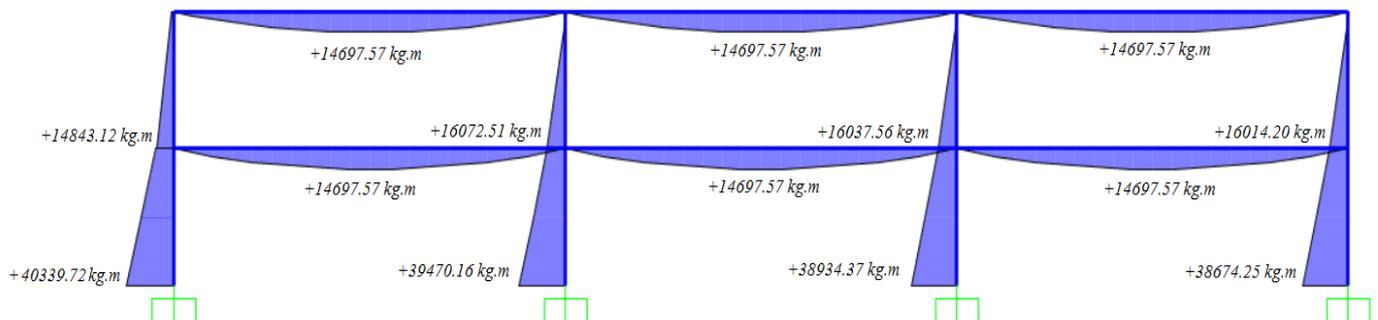


Figura 36: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

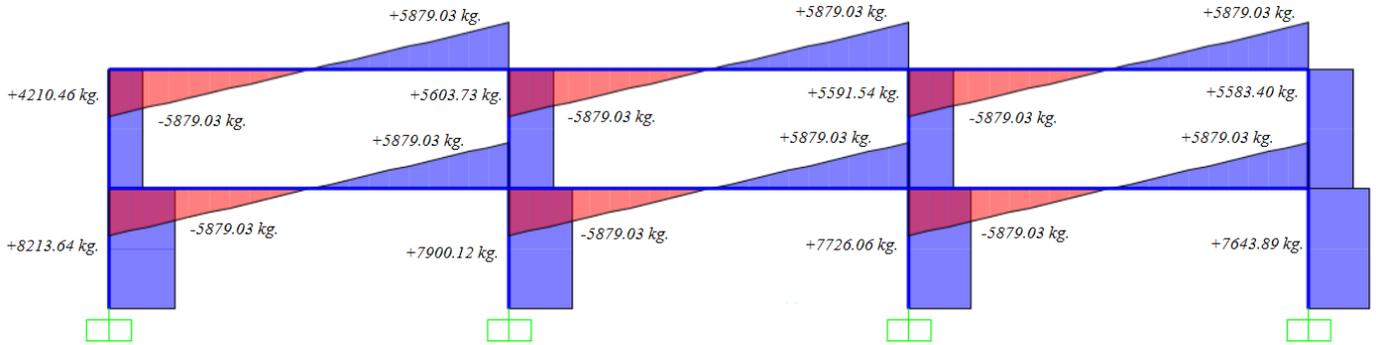


Figura 37: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

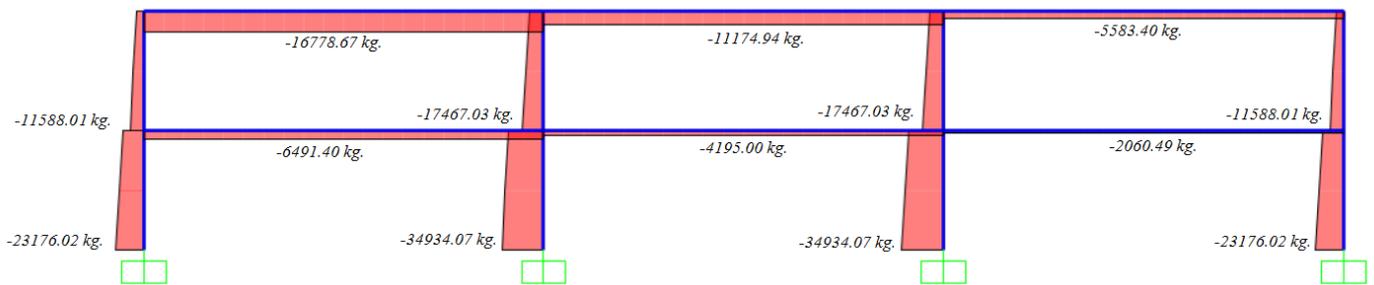
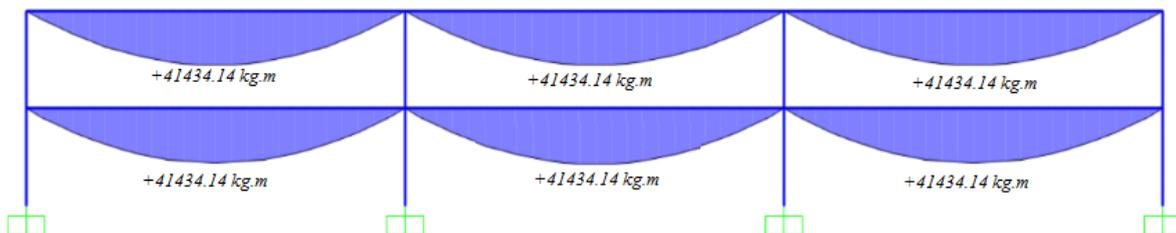


Figura 38: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 10 m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

3.2.4 Losas TT de Sección Constante con 12m de luz.

Se considera inicialmente la Combinación de Cargas 1: $U = 1.6L + 1.2D$, la cual aplicada en el Modelo de Análisis y ejecutada mediante el programa SAP2000,



da los siguientes resultados:

Figura 39: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

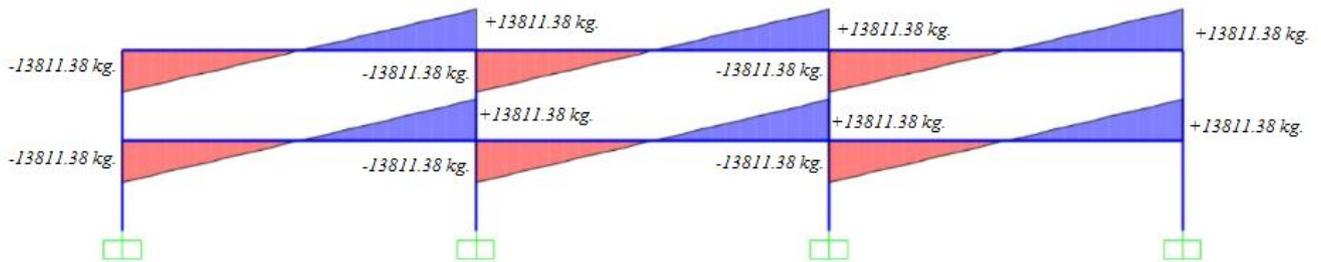


Figura 40: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

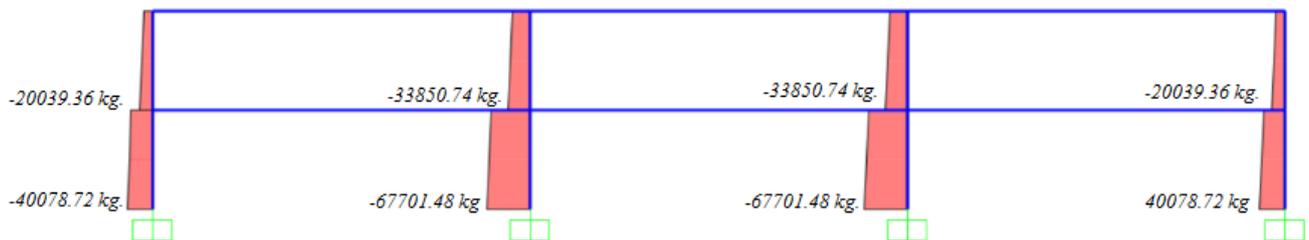


Figura 41: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar en el Modelo de Análisis la Combinación de Cargas 2: $U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$:

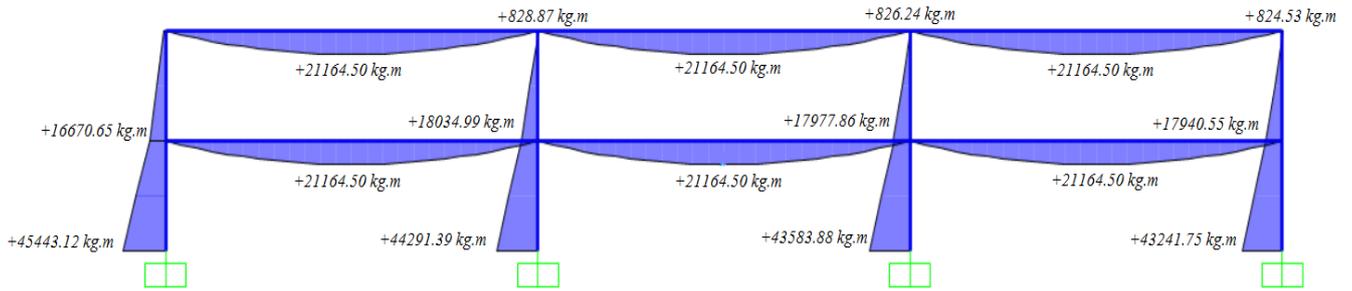


Figura 42: Gráfico de momentos para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

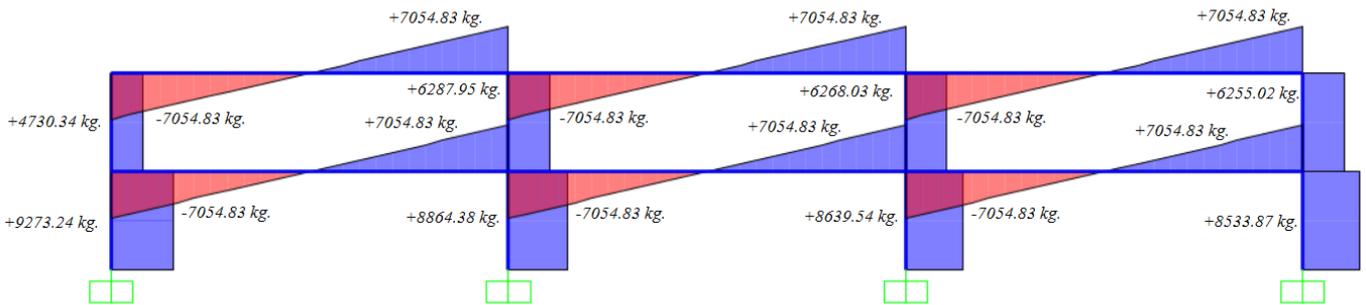


Figura 43: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

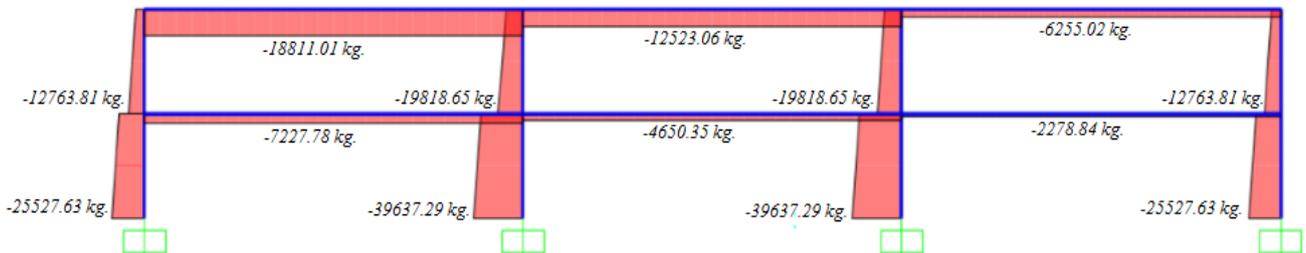


Figura 44: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección constante y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.



3.3 Análisis de las Losas TT de sección variable.

El análisis se realiza aplicando las combinaciones de cargas 1 y 2, que fueron determinadas en el apartado 2.4, variando las luces en 6m, 8m, 10m y 12m para cada tipo de Losa TT de sección variable. Para cada variante se obtienen diferentes resultados de momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerzas axiales, las que se analizarán en el siguiente capítulo.

3.3.1 Losas TT de Sección variable con 6m de luz.

Se considera inicialmente la Combinación de Cargas 1: $U = 1.6L + 1.2D$, la cual aplicada en el Modelo de Análisis y ejecutada mediante programa SAP2000, da los siguientes resultados:

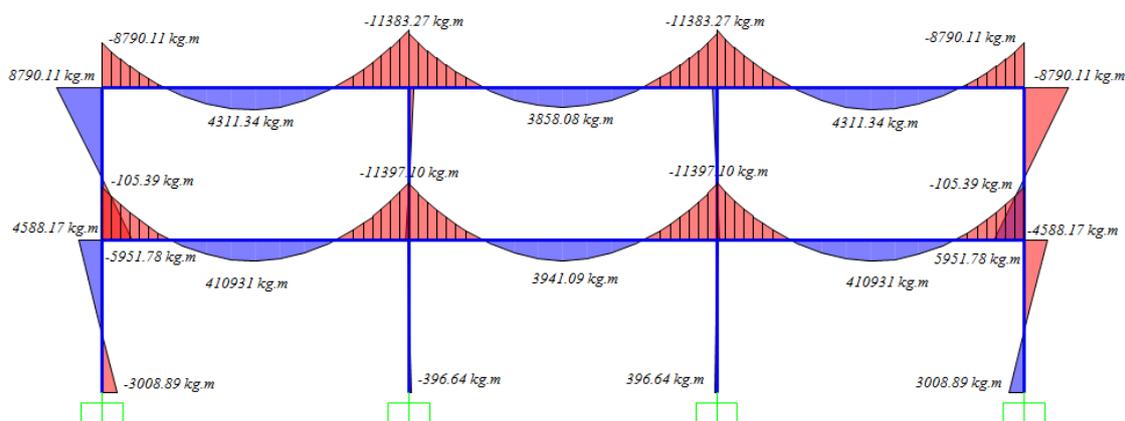


Figura 45: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

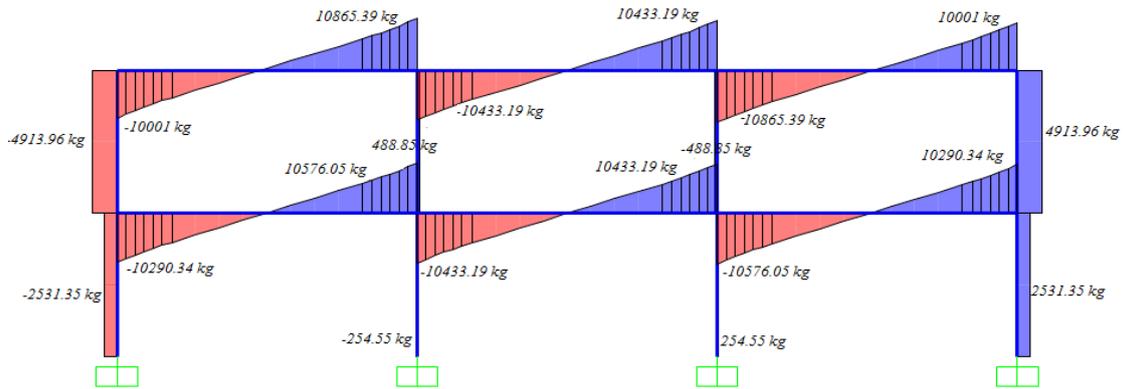


Figura 46: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.



Figura 47: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar en el Modelo de Análisis la Combinación de Cargas 2: $U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$:

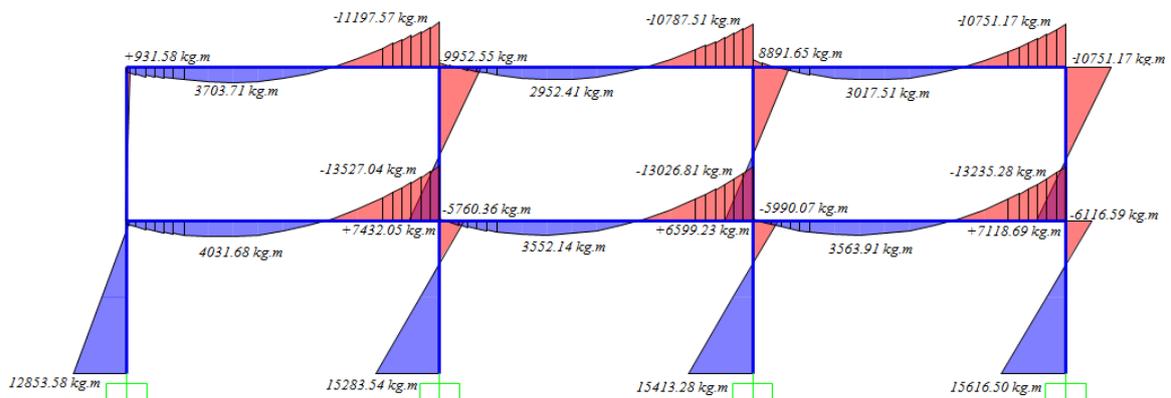


Figura 48: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

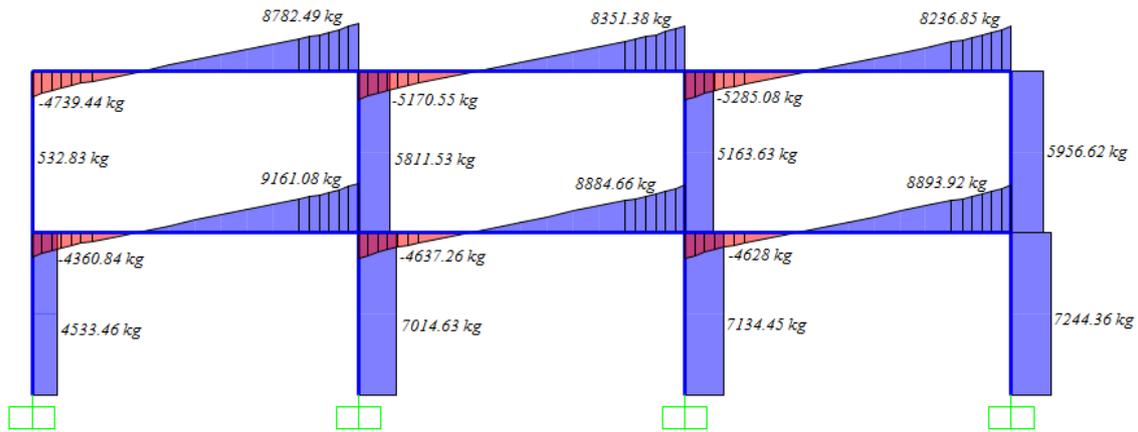


Figura 49: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

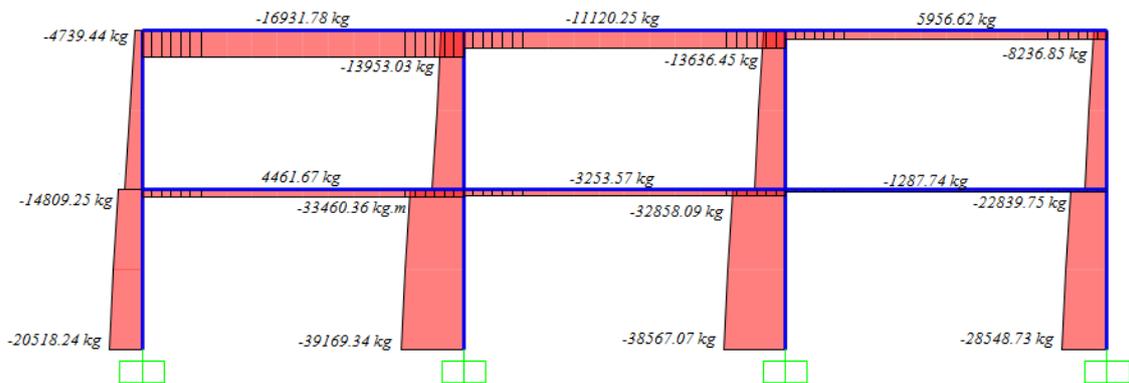


Figura 50: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 6m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

3.3.2 Losas TT de Sección Variable con 8m de luz.

Se considera inicialmente la Combinación de Cargas 1: $U = 1.6L + 1.2D$, la cual aplicada en el Modelo de Análisis y ejecutada mediante el programa SAP2000, da los siguientes resultados:

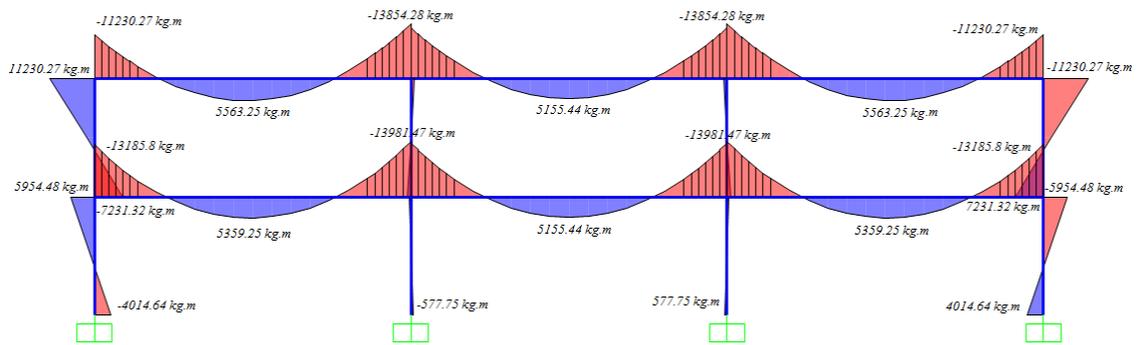


Figura 51: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

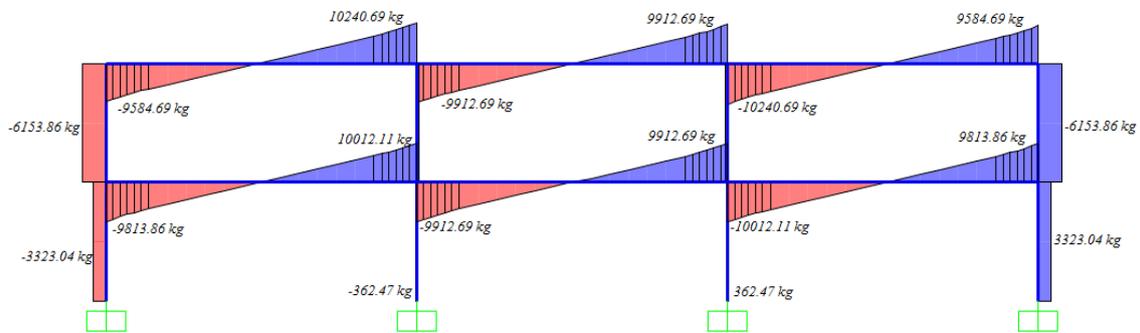


Figura 52: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

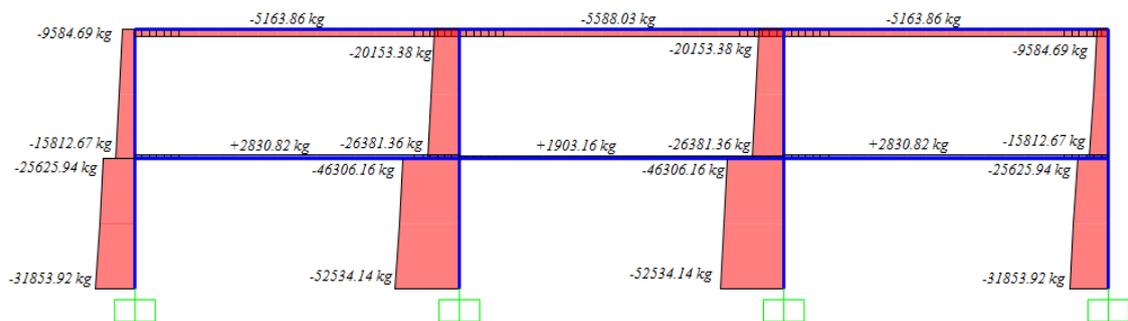


Figura 53: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.



A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar en el Modelo de Análisis la Combinación de Cargas 2: $U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$:

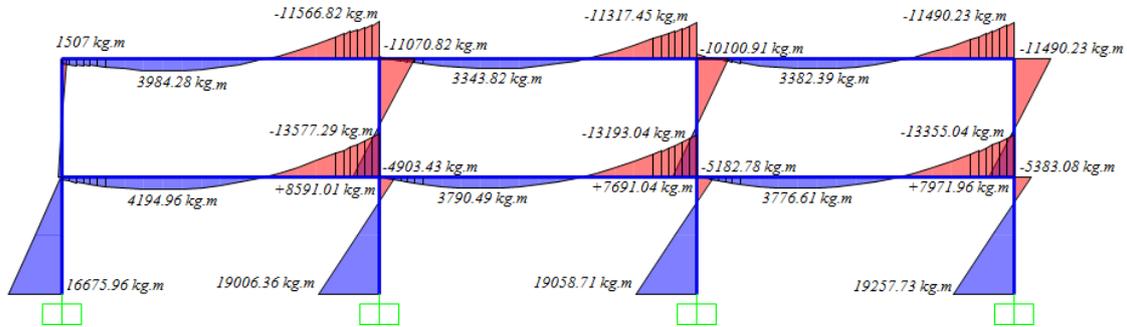


Figura 54: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

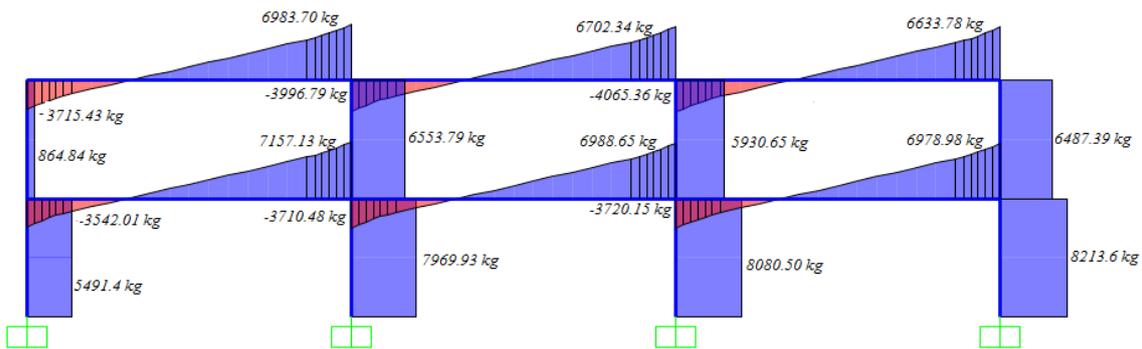


Figura 55: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

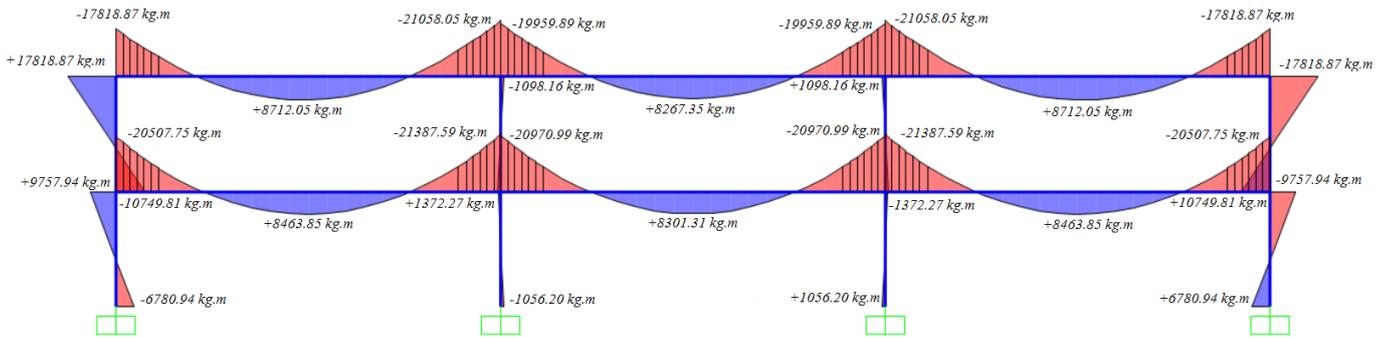


Figura 56: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 8m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.



3.3.3 Losas TT de Sección Constante con 10m de luz.

Se considera inicialmente la Combinación de Cargas 1: $U = 1.6L + 1.2D$, la cual aplicada en el Modelo de Análisis y ejecutada mediante programa SAP2000, da



los siguientes resultados:

Figura 57: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

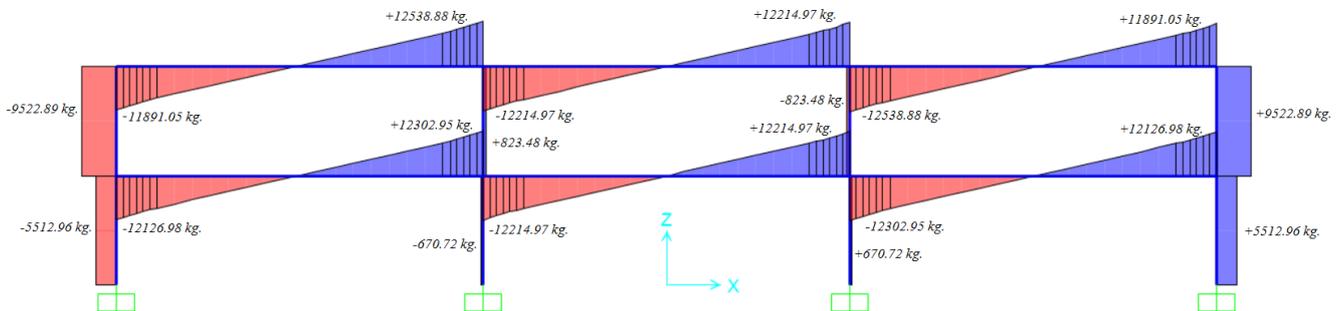


Figura 58: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

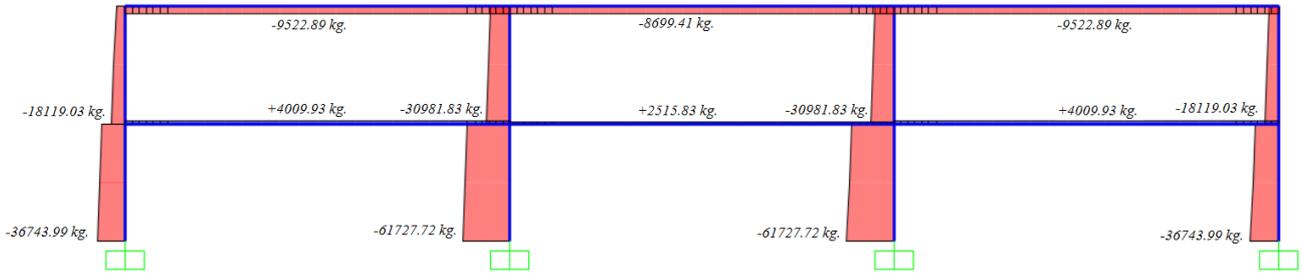


Figura 59: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar en el Modelo de Análisis la Combinación de Cargas 2: $U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$:



Figura 60: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

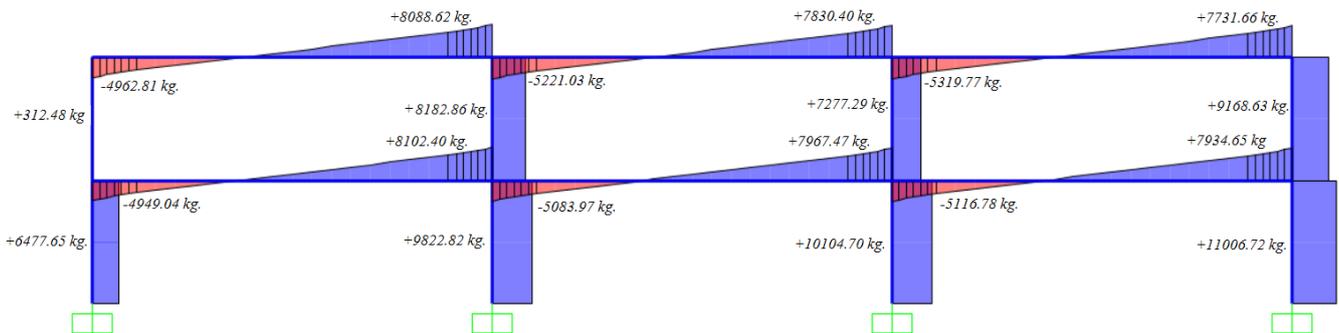


Figura 61: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

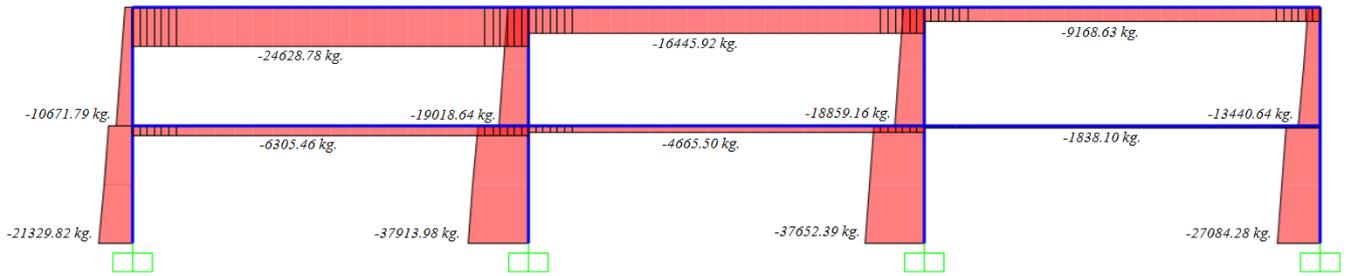
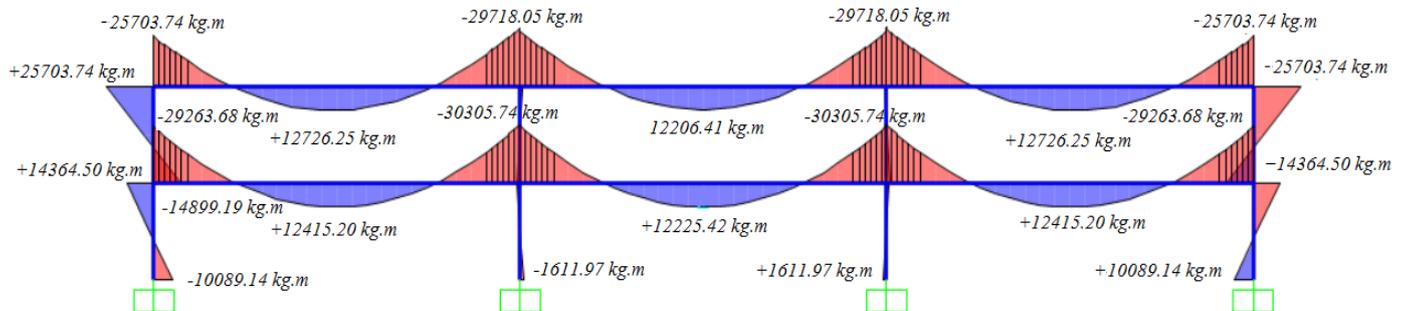


Figura 62: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 10m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

3.3.4 Losas TT de Sección Variable con 12m de luz.

Se considera inicialmente la Combinación de Cargas 1: $U = 1.6L + 1.2D$, la cual aplicada en el Modelo de Análisis y ejecutada mediante el programa SAP2000,



da los siguientes resultados:

Figura 63: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

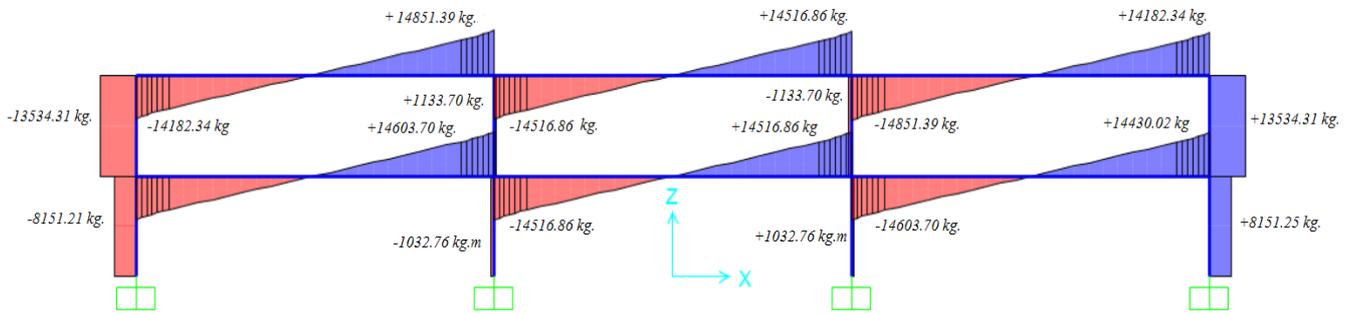


Figura 64: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

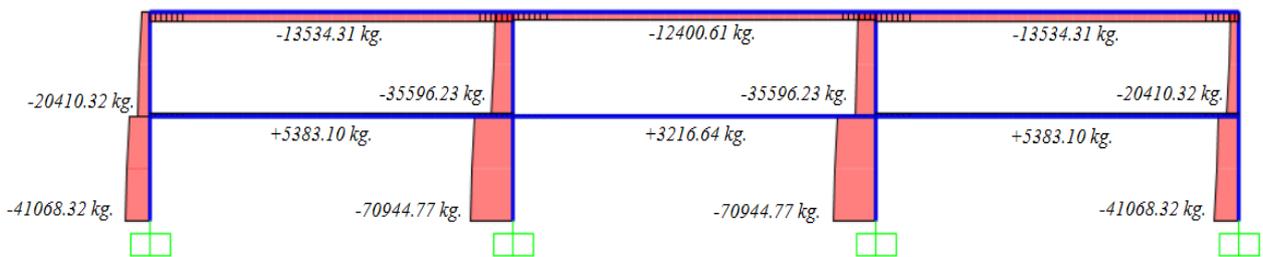


Figura 65: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 1.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar en el Modelo de Análisis la Combinación de Cargas 2: $U = 1.1(D + 0.25L) + 1.0(E)$:

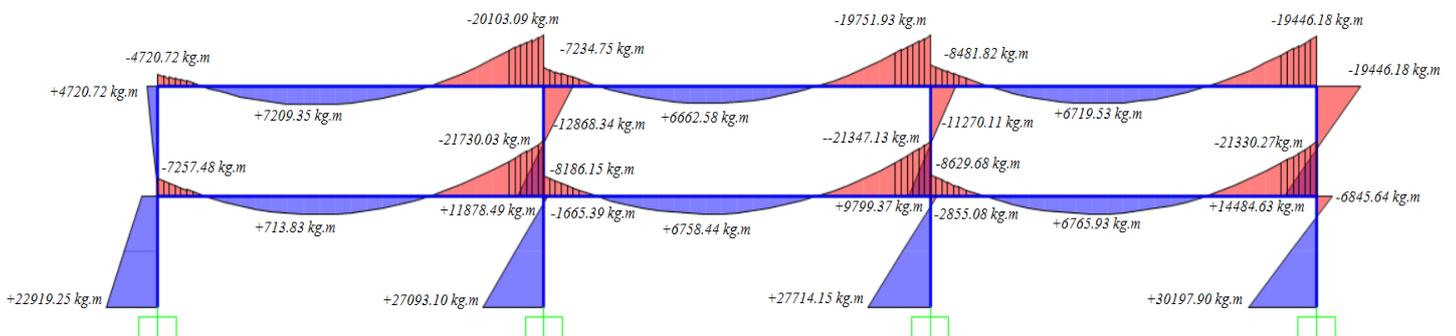


Figura 66: Gráfico de momentos para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

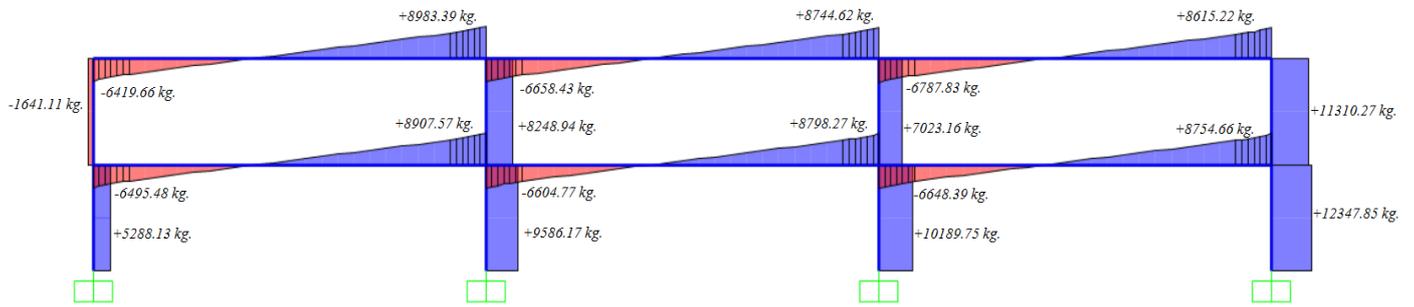


Figura 67: Gráfico de fuerza cortante para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.

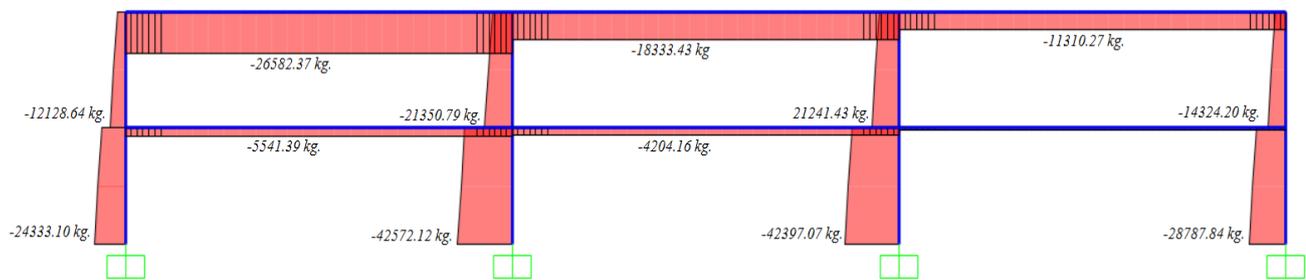


Figura 68: Gráfico de fuerza axial para Losa TT de sección variable en los extremos y 12m de luz, empleando la Combinación de Cargas 2.



3.4 Resultados de Desplazamientos y Giros obtenidos de la modelación en el programa SAP2000.

Para mostrar los resultados de los desplazamientos horizontales, verticales y giros en los nudos, es indispensable enumerar cada uno de los nudos de la estructura objeto de estudio, como se muestra a continuación:

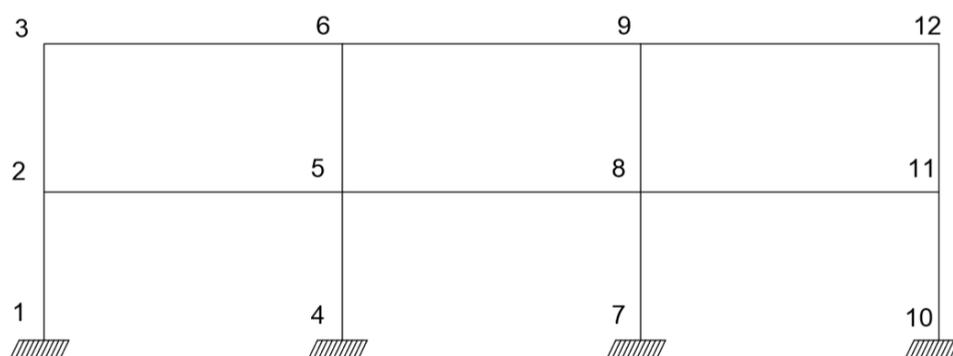


Figura 69: Enumeración de nudos en la estructura objeto de estudio.

En las siguientes tablas se muestra los valores de los desplazamientos horizontales y giros en cada uno de los nudos de la Figura 69, obtenidos aplicar el Modelo de Análisis en el programa SAP2000:

LOSA DE SECCIÓN VARIABLE DE 6m. DE LUZ			
NUDO	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL (mm)	GIROS (rad)	
		COMB. DE CARGAS 1	COMB. DE CARGAS 1
2	1,1	6,90E-05	5,27E-03
3	2,7	1,92E-04	4,92E-04
5	1,1	-2,48E-06	4,15E-04
6	2,6	-8,08E-06	3,07E-04
8	1,1	2,46E-06	4,11E-04
9	2,6	8,09E-06	3,11E-04
11	1,1	-6,90E-05	4,14E-04
12	2,5	-1,92E-04	2,56E-04

Tabla 23: Desplazamientos Horizontales y Giros en Losas TT de sección variable en los extremos de 6m de luz.



LOSA DE SECCIÓN VARIABLE DE 8m. DE LUZ			
NUDO	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL (mm)	GIROS (rad)	
		COMB. DE CARGAS 1	COMB. DE CARGAS 1
2	1,5	8,50E-05	7,35E-03
3	3,7	2,59E-04	7,17E-04
5	1,5	2,90E-06	6,14E-04
6	3,6	-3,29E-06	5,06E-04
8	1,5	2,96E-06	6,05E-04
9	3,5	3,29E-06	5,00E-04
11	1,5	-8,50E-05	6,04E-04
12	3,5	-2,59E-04	4,51E-04

Tabla 24: Desplazamientos Horizontales y Giros en Losas TT de sección variable en los extremos de 8m de luz.

LOSA DE SECCIÓN VARIABLE DE 10m. DE LUZ			
NUDO	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL (mm)	GIROS (rad)	
		COMB. DE CARGAS 1	COMB. DE CARGAS 1
2	1,5	1,47E-04	8,91E-04
3	4,4	4,59E-04	1,04E-03
5	1,6	-4,36E-06	7,28E-04
6	4,3	-8,53E-08	6,85E-04
8	1,7	4,36E-06	7,18E-04
9	4,2	8,53E-08	6,58E-04
11	1,7	-1,47E-04	6,82E-04
12	4,1	-4,59E-04	5,16E-04

Tabla 25: Desplazamientos Horizontales y Giros en Losas TT de sección variable en los extremos de 10m de luz.

LOSA DE SECCIÓN VARIABLE DE 12m. DE LUZ			
NUDO	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL (mm)	GIROS (rad)	
		COMB. DE CARGAS 1	COMB. DE CARGAS 1
2	2,4	2,11E-04	1,31E-03
3	6,4	6,89E-04	1,46E-03
5	2,4	-5,53E-06	1,10E-03
6	6,2	1,20E-05	1,00E-03
8	2,4	5,53E-06	1,47E-03
9	6,0	-1,20E-05	9,67E-04
11	2,5	-2,11E-04	1,01E-03
12	6,0	-6,89E-04	7,43E-04

Tabla 26: Desplazamientos Horizontales y Giros en Losas TT de sección variable en los extremos de 12m de luz.



Los Desplazamientos Verticales de las Losas TT en las variantes de sección y longitud, son los tabulados a continuación:

DEFLEXIONES APLICANDO LA COMBINACIÓN DE CARGAS 1		
LONGITUD DE LOSA TT	TIPO DE SECCIÓN	DESPLAZAMIENTO VERTICAL (mm)
6 metros	Constante	7,1
	Variable	0,8
8 metros	Constante	12,3
	Variable	1,9
10 metros	Constante	29,9
	Variable	4,7
12 metros	Constante	62,1
	Variable	9,9

Tabla 27: Desplazamientos Verticales (mm) de Losas TT en sus variantes de sección y longitud, utilizando la Combinación de Cargas 1.

DEFLEXIONES APLICANDO LA COMBINACIÓN DE CARGAS 2		
LONGITUD DE LOSA TT	TIPO DE SECCIÓN	DESPLAZAMIENTO VERTICAL (mm)
6 metros	Constante	2,9
	Variable	0,7
8 metros	Constante	6,3
	Variable	1,2
10 metros	Constante	15,3
	Variable	2,8
12 metros	Constante	31,7
	Variable	5,6

Tabla 28: Desplazamientos Verticales (mm) de Losas TT en sus variantes de sección y longitud, utilizando la Combinación de Cargas 2.



CAPITULO 4: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

El estudio comparativo del comportamiento estructural de los nudos conformados por Losas TT en sus variantes de secciones y longitudes con muros bajo cargas gravitacionales y sísmicas descritas en el Capítulo 2, consiste en analizar y comparar los resultados de la distribución de las fuerzas interiores y deflexiones.

Como se puede observar, en cada uno de los modelos, los resultados de momentos flectores en las Losas TT de sección constante, resultan ser únicamente positivos. Esto se debe a que los apoyos para este tipo de Losas TT, están dados por sus nervios o almas, del orden de 0.10m de ancho cada una, en la longitud del orden de 0.20m sobre ménsulas, vigas, o directamente sobre muros, lo que referido con los 6.00m, 8.00m, 10.00m, y 12.00m de luz respectivamente, no representa un apoyo que permita conformar nudos rígidos en la estructura, debiendo modelarse como simples apoyos o como articulaciones.

Por otro lado, las Losas TT de sección variable en los extremos, conforman una estructura continua por la geometría acartelada en ellos. Esta geometría permite que parte del momento se ubique como momento negativo en esos extremos de las Losas TT. Por tanto, los nudos de la estructura giran distribuyendo de forma proporcional los esfuerzos a todos los elementos que en él concurren.

4.1 Comparación de los resultados del análisis aportados en la aplicación del programa SAP2000, y los resultados del Diseño Estructural

Con el objetivo de interpretar la lógica constructiva de los resultados del diseño en cuanto a las barras de aceros para las Losas TT de sección variable por el



momento en los extremos, se determinan las cantidades y los diámetros de las barras de acero en un ancho de 1.60m, correspondiente al de cada losa.

Para Losas TT de sección variable, como elemento prefabricado se determina el valor del momento nominal negativo que pueden asumir aplicando la Ec 11, ya que en este caso la sección en los extremos es rectangular y no T, considerando aceros de 1/2" (12mm) para luces de 6.00m y 8.00m, y 9/16" (14mm) para luces de 10.00m y 12.00m, espaciados entre si 0.20m.

$$Mn = A_s * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{Ec 11}$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0,85 * f'_c * b} \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

Mn Momento Resistente de la sección. $Mn = \phi Mu$

A_s Área de acero. Incógnita objeto de cálculo para determinarla.

f_y Límite de Fluencia del acero.

f'_c Esfuerzo de diseño de compresión del hormigón.

d Distancia del centroide del acero a la fibra extrema en compresión.

a Altura del bloque de compresión rectangular equivalente.

b Ancho de la sección en compresión.

Se disponen de dos ecuaciones para obtener las dos incógnitas. Sustituyendo cada uno de estos factores en ellas se tienen los siguientes resultados:

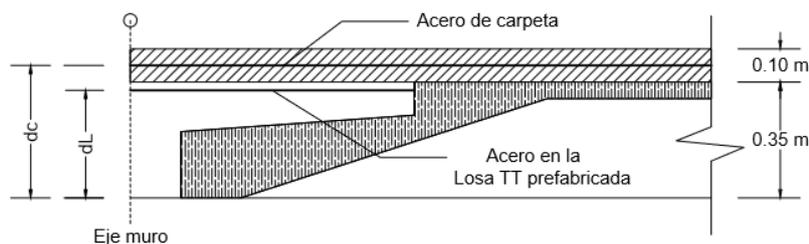


Figura 70: Ubicación de los aceros en las Losas TT (dL) y en la carpeta (dc).

DATOS		
$f_y =$	4200	kg/cm ²
$f'_c =$	350	kg/cm ²
$b =$	160	cm
$d_L =$	32,5	cm
$d_c =$	37,5	cm

Tabla 29: Datos para determinación de Momento Nominal.

DETERMINACIÓN DE MOMENTO NOMINAL EN BASE A LA CANTIDAD DE ACERO				
DIÁMETRO	# VARILLAS	As	a	Mn
mm		cm ²	(cm)	kg.m
12	8	9,05	0,80	12198,54
14	8	12,32	1,09	16529,02

Tabla 30: Determinación del Momento Nominal en función del acero.

En base a estos resultados, se procede a comparar con los momentos últimos mayorados: ϕM_u obtenidos al ejecutar el Análisis en el Modelo para Losas TT de sección variable.

La diferencia del momento último total obtenido por medio del programa SAP2000 y el momento nominal que asume el acero saliente de la Losa TT prefabricada, determinado por medio de la Ec 11, permite establecer la cantidad de acero que se necesita colocar en la carpeta de 0.10m sobre la Losa TT para cada variante de Luz.

ACERO EN LOSA TT DE SECCIÓN VARIABLE DE 6m DE LUZ Y CARPETA					
MOMENTO CALCULADO (ϕM_n)		MOMENTO (M_u)	As	DIÁMETRO	# VARILLAS EN
DIÁMETRO (mm)	VALOR (kg.m)	(kg.m)	(CARPETA) (cm ²)	(mm)	CARPETA
12	12198,54	11397,10	No requiere Acero	6	No requiere Acero

Tabla 31: Acero necesario para la carpeta de 0.10m, según la diferencia de momento último y momento nominal en Losa TT de sección variable de 6m de luz.



ACERO EN LOSA TT DE SECCIÓN VARIABLE DE 8m DE LUZ Y CARPETA					
MOMENTO CALCULADO (ϕM_n)		MOMENTO (M_u)	As	DIÁMETRO	# VARILLAS EN
DIÁMETRO (mm)	VALOR (kg.m)	(kg.m)	(CARPETA) (cm ²)	(mm)	CARPETA
12	12198,54	13981,47	1,14	6	5

Tabla 32: Acero necesario para la carpeta de 0.10m, según la diferencia de momento último y momento nominal en Losa TT de sección variable de 8m de luz.

ACERO EN LOSA TT DE SECCIÓN VARIABLE DE 10m DE LUZ Y CARPETA					
MOMENTO CALCULADO (ϕM_n)		MOMENTO (M_u)	As	DIÁMETRO	# VARILLAS EN
DIÁMETRO (mm)	VALOR (kg.m)	(kg.m)	(CARPETA) (cm ²)	(mm)	CARPETA
14	16529,02	21387,59	3,12	8	7

Tabla 33: Acero necesario para la carpeta de 0.10m, según la diferencia de momento último y momento nominal en Losa TT de sección variable de 10m de luz.

ACERO EN LOSA TT DE SECCIÓN VARIABLE DE 12m DE LUZ Y CARPETA					
MOMENTO CALCULADO (ϕM_n)		MOMENTO (M_u)	As	DIÁMETRO	# VARILLAS EN
DIÁMETRO (mm)	VALOR (kg.m)	(kg.m)	(CARPETA) (cm ²)	(mm)	CARPETA
14	16529,02	30305,74	8,75	12	8

Tabla 34: Acero necesario para la carpeta de 0.10m, según la diferencia de momento último y momento nominal en Losa TT de sección variable de 12m de luz.

Como se observa en las anteriores tablas, el momento último obtenido al aplicar el modelo de análisis en el programa SAP2000 es muy cercano al momento nominal obtenido por medio de la Ec 11. Esto resulta positivo para este estudio, ya que la diferencia de estos dos momentos indica la cantidad de acero necesaria en la carpeta para resistir las fuerzas de tracción.

4.2 Análisis de resultados considerando las variantes de tipos de sección y luz.

- Flexión en el centro de la luz de las Losa TT.

De los resultados obtenidos se puede notar que el momento flector generado en el centro de la luz las losas TT de sección constante debido a cargas gravitacionales (carga muerta y carga viva), es mayor en un 69% al generado por las mismas cargas en las Losas TT de sección variable, para todas las variantes de luz. Esto debido a que el nudo que se conformó por las Losas TT de sección variable y el muro, ayudan a transmitir parte del momento a los



extremos de la losa y a los muros, es decir, las losas trabajarían asumiendo momentos negativos en los extremos.

Con la combinación de cargas 2, que involucra las fuerzas laterales de sismo, en los pórticos conformados por Losas TT de sección constante, los muros trabajan como voladizo, por lo que el momento flector en la base de la estructura es mayor aproximadamente en un 45% al momento flector que se genera en los pórticos conformados por Losas TT de sección variable, en todas las variantes de luz.

- Fuerza Cortante en los extremos de la losa TT.

Las fuerzas cortantes en los extremos de las Losas TT de sección variable aumentan en un 49% con respecto a las fuerzas cortantes de las Losas TT de sección constante, en todas las variantes de luz. Esto justifica la conformación de los nudos mediante hormigonado in situ, ya que la sección que resiste la fuerza cortante aumenta. Por ende las fuerzas axiales que actúan en los muros son mayores en los pórticos conformados por Losas TT de sección variable.

- Deflexiones por carga gravitacionales.

Para el análisis y verificación del cumplimiento de las deflexiones, se emplea el código ACI-318, la cual presenta valores máximos permitidos para deflexiones en diferentes casos como se muestra en la siguiente tabla.

Tipo de elemento	Deflexión considerada	Límite de deflexión
Cubiertas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debida a la carga viva, L	$l/180^*$
Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debida a la carga viva, L	$l/360$
Sistema de entrepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional) [†]	$l/480^*$
Sistema de entrepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.		$l/240^§$

Tabla 35: Deflexiones Máximas Admisibles para hormigón armado y preesforzado. Fuente: ACI-318. [31]

Considerando para este trabajo de titulación, un sistema de entrepiso ligado a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debidos a deflexiones



grandes, se determinan las deflexiones considerando cargas de servicio sin mayorar para compararlas con las deflexiones máximas permitidas según el código ACI-318, como se muestra en la siguiente tabla.

DEFLEXIONES SEGÚN CARGAS DE SERVICIO SIN MAYORAR Y MAX. PERMITIDAS			
LONGITUD DE LOSA TT	TIPO DE SECCIÓN	DESPLAZAMIENTO VERTICAL MAXIMO (mm)	DESPLAZAMIENTO MAX. PERMITIDO. (mm)
6 metros	Constante	4,9	12,5
	Variable	0,6	
8 metros	Constante	8,8	16,7
	Variable	1,4	
10 metros	Constante	21,6	20,8
	Variable	3,4	
12 metros	Constante	44,7	25
	Variable	7,2	

Tabla 36: Desplazamientos determinados a partir de cargas de servicio no mayoradas y comparados con los desplazamientos máximos permitidos por el código ACI-318.

Como se observa en la Tabla 36, los desplazamientos verticales máximos permitidas para Losas TT de sección constante de 10.00m y 12.00m sobrepasan el límite máximo de los desplazamientos establecido por el código ACI-318, por lo que no son admisibles.

Por otro lado, los desplazamientos en el centro de las Losas TT de sección variable, cumplen con los límites establecidos por el código, siendo una de las razones por lo que resulta favorable aplicar de este tipo de Losas TT.

- Control de deriva de piso.

La deriva de piso, es el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos que se encuentran en la misma línea vertical en dos pisos consecutivos de una edificación. Su determinación es indispensable en el proceso del diseño estructural, ya que se encuentra asociada con las deformaciones inelásticas de los elementos estructurales y no estructurales, el daño a los elementos no estructurales, la estabilidad global de la estructura y además, la alarma y pánico de los ocupantes de la edificación.



Las deformaciones excesivas ocasionan pérdidas debido a daños en elementos estructurales y no estructurales. El diseñador estructural debe comprobar que la estructura en análisis presente deformaciones inelásticas controlables. Por lo tanto, los límites a las derivas inelásticas máximas (Δ_M) de entrepiso se presenta en la Tabla 37, los cuales deben satisfacer en todas las columnas del edificio. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, Debido a que en varias ocasiones no son las fuerzas sísmicas, sino el control de deformaciones el parámetro de diseño crítico, se enfatiza este requisito a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso. [29]

El valor de la deriva máxima inelástica (Δ_M) de cada piso se calcula mediante la siguiente ecuación obtenida de la NEC-11. [29]

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E \quad \begin{matrix} Ec \\ 13 \end{matrix}$$

Donde:

R Factor de reducción de resistencia definido para este análisis dependiendo el tipo de estructura.

$$\Delta_E = \frac{\text{Desplazamiento piso superior} - \text{desplazamiento piso inferior}}{\text{altura entre piso}}$$

Entonces, las derivas de esta estructura no deben ser mayores que 0.02.

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Tabla 37: Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura. Fuente: NEC-11. [30]



Longitud	Piso	Δ_E	$\Delta_M=0.75 \cdot R \cdot \Delta_E$	$\Delta_M < 0.02$
6 metros	1	0,00037	0,0014	CUMPLE
	2	0,00052	0,0019	CUMPLE
8 metros	1	0,00050	0,0019	CUMPLE
	2	0,00075	0,0028	CUMPLE
10 metros	1	0,00053	0,0020	CUMPLE
	2	0,00090	0,0034	CUMPLE
12 metros	1	0,00080	0,0030	CUMPLE
	2	0,00134	0,0050	CUMPLE

Tabla 38: Verificación de las Derivas máximas de piso.

Las derivas de piso para las estructuras objeto de estudio, no exceden rango admisible establecido por la NEC-11, de 0.02, por lo que se concluye que estas estructuras trabajan eficientemente ante cargas horizontales.



CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo de titulación están orientadas hacia el cumplimiento de los objetivos planteados. Esto es el análisis comparativo del comportamiento de los nudos de estructuras conformadas con muros y Losas TT de sección variable en los extremos por el macizado progresivo respecto a los de sección constante.

- 1) Las Losas TT de sección constante, que se apoyan en sus almas se comportan como simplemente apoyadas, mientras que la mayor sección de apoyo de las Losas TT de sección variable por el macizado de los extremos con aceros continuos y bloque de compresión inferior, garantiza nudos rígidos con la correspondiente distribución de momentos de signo negativo entre las losas.

Así, las estructuras conformadas por Losas TT de sección variable y muros, caso considerado para este estudio, garantizan el trabajo de los nudos, incrementando la rigidez. De esta manera, se produce la transmisión de los esfuerzos de flexión a los elementos verticales de las estructuras producidos por las cargas gravitacionales y por cargas sísmicas.

- 2) La única solución para soportar los esfuerzos de los momentos flectores de signo positivo de las Losas TT de sección constante, es incrementar la cantidad de acero en los elementos, por lo que resulta más apropiado el uso de elementos de Losa TT de sección variable, que permite reducir la cantidad de acero de refuerzo o de pretensado.



- 3) En los casos de luces de 10.00m y 12.00m, el peralte de la sección constante de la Losa TT, resulta pequeña, esto conduce a que las deformaciones verticales no cumplan con los valores máximos establecidos en el código ACI-318.
- 4) La rigidez que generan los nudos conformados por Losas TT de sección variable y muros, se corrobora por los resultados obtenidos, mostrados en las Tablas 23, 24, 25 y 26. Esto demuestra, que la sección variable en los extremos de las Losas TT, obtenidas mediante el macizado progresivo, ayuda a transmitir los esfuerzos entre todos los elementos estructurales que lleguen a un determinado nudo.
- 5) Los nudos conformados por Losas TT de sección variable en los extremos y muros constituyen una solución viable constructivamente y confiable como se ha demostrado en la práctica.
- 6) Los elementos prefabricados han sido estigmatizados, en el sentido de no recomendar su aplicación en estructuras en regiones de alta sismicidad por su supuesta precaria capacidad de deformación y de disipación de energía. Sin embargo, por el análisis realizado y con base en criterios ingenieriles referidos en este trabajo de titulación, se concluye, en general, que la aplicación de estructuras conformadas por elementos estructurales de Losas TT prefabricadas de sección variable en los extremos, permite la conformación de nudos rígidos. Esto hace, la aplicación de este tipo de elementos una solución muy conveniente y viable, ya que presenta un comportamiento adecuado ante la incidencia de las cargas, incluida la de sismos.

En el caso de las Losas TT de sección variable con luces de 10m y 12m, puede ser conveniente aplicar secciones con mayores dimensiones, que permitan



incrementar la sección de apoyo y consecuentemente una mejor distribución de esfuerzos. De esta manera el valor del momento se reduce y por tanto el acero de la carpeta.



RECOMENDACIONES

- 1) Para evitar deflexiones verticales mayores a las máximas establecidas por el código ACI-318, se debe considerar incrementar las dimensiones de la sección transversal de las Losas TT de sección variable para luces de 10.00m y 12.00m de luz.
- 2) A pesar de las ventajas de la Losa TT de sección variable aún existe la denominada “resistencia al cambio” por parte de los constructores y diseñadores, siendo un impedimento para el desarrollo de sistemas constructivos con elementos prefabricados en la ciudad de Cuenca y el Ecuador en general. Por esto, las empresas productoras de prefabricados, deben tomar medidas y producir Losas de este tipo, que además de permitir un mejor comportamiento estructural, disminuye los trabajos en obra por la aplicación de encofrados, como en el caso del “Edificio Aulario de la Facultad de Ingeniería, en Balzay”, además de otras ventajas como, la disminución de impacto ambiental y reducción de costos finales.
- 3) Para este tipo de losas es importante considerar en el análisis estructural la variación del ángulo de la cartela, ya que dependiendo de ello, la distribución de los esfuerzos difiere, así como también el modo de falla, como se presentó en el “X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica” en México (1993). [3]. Por lo tanto se recomienda realizar investigaciones posteriores en este aspecto.



REFERENCIAS

- [1] G. Winter and A. H. Nilson, *Proyecto de estructuras de hormigón*. Bogotá: Reverté, 1977.
- [2] H. Aranda, A. Colunga, and Ó. Cuevas, “Mecanismos de resistencia y deformación a cortante de trabes acarteladas de concreto reforzado,” *Rev. Int. Ing. Estructuras*, vol. 11, no. 1, pp. 1–24, 2006.
- [3] A. Colunga and C. de Padiema, “RECOMENDACIONES PARA EL DETALLADO DUCTIL DE TRABES ACARTELADAS DE CONCRETO REFORZADO ANTE SISMOS,” in *Memoria del X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 1993, vol. 1, pp. 329–337.
- [4] C. N. Peguero and P. G. Montero, “Optimización del acartelamiento de pórticos de nudos rígidos en función de su geometría,” *VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas*. Universias de Castilla, Madrid, España, 2013.
- [5] F. F. Calderón Peralvo and R. S. Ortega Toledo, “Tesis de pregrado: ‘Diseño estructural de losas TT prefabricadas pretensadas con extremos rígidos,’” Univesidad Estatal de Cuenca, 2013.
- [6] M. A. Loja Suconota, “Tesis de Pregrado: ‘Investigación de las principales tecnologías constructivas de edificaciones utilizadas en la ciudad de Cuenca,’” Universidad de Cuenca, 2015.
- [7] I. Computers and Structures, “Structural Analysis Program SAP 2000.” Hewlett Packard, Berkeley, California., 2011.
- [8] F. Carrasco Castro, “Hormigón Pretensado Diseño de Elementos Isostáticos,” 1st ed., Cuenca: Universidad de Cuenca; Facultad de ingeniería, 2010, p. 29.
- [9] N. Navarro Campos, *Sistema Soporte Prefabricado-Postesado para edificaciones*. La Habana, Cuba: Oficina de la Propiedad Industrial, 2005.
- [10] L. F. Maya Duque, “Tesis Doctoral: ‘Estudio de estructuras aporticadas prefabricadas con uniones basadas en hormigones con fibras,’” E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM), Madrid, España, 2011.
- [11] Precast/Prestressed Concrete Institute, (*PCI*) - *Precast/Prestressed Concrete Institute*. Chicago, Illinois: Desing Handbook, 1999.



- [12] American Concrete Institute, “Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08) y comentario ACI.,” Bogota: Instituto Americano del Concreto, 2008, pp. 121–122.
- [13] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Riesgo Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, p. 19.
- [14] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Cargas NO Sísmicas.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, pp. 18–20.
- [15] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Cargas NO Sísmicas.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, pp. 25–31.
- [16] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Cargas NO Sísmicas.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, pp. 14–17.
- [17] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- [18] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, p. 27.
- [19] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, p. 39.
- [20] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, pp. 61–63.
- [21] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, pp. 33–35.
- [22] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, pp. 31–32.
- [23] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, pp. 64–65.



- [24] Norma Ecuatoriana de la Construcción, *NEC-11 “Norma Ecuatoriana de la Construcción” Peligro Sísmico*. Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- [25] Norma Ecuatoriana de la Construcción, *NEC-11 “Norma Ecuatoriana de la Construcción” Peligro Sísmico*. Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- [26] Norma Ecuatoriana de la Construcción, *NEC-11 “Norma Ecuatoriana de la Construcción” Peligro Sísmico*. Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- [27] American Concrete Institute, “Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08) y comentario ACI.,” Bogotá: Instituto Americano del Concreto, 2008, p. 113.
- [28] F. Carrasco Castro, “Hormigón Pretensado Diseño de Elementos Isostáticos,” 1st ed., Cuenca: Universidad de Cuenca; Facultad de ingeniería, 2010, p. 50.
- [29] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, pp. 69–70.
- [30] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “NEC-11 ‘Norma Ecuatoriana de la Construcción’ Peligro Sísmico.,” Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, p. 40.
- [31] American Concrete Institute, “Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08) y comentario ACI.,” S-08 ed., Bogotá: Instituto Americano del Concreto, 2008, p. 131.