



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE NUDOS CONFORMADOS POR MUROS Y LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y VARIABLE, PARA LUCES DE 12, 14, 16 Y 18 METROS”

*Tesis de grado previo a la obtención
del título de Ingeniero Civil*

AUTORES:

CARLOS ANDRES ARGUDO ZAPATA
HUGO FABIAN CASTILLO BARAHONA

DIRECTOR:

ING. JULVER PINO VELÁZQUEZ M.sc

CUENCA-ECUADOR
NOVIEMBRE DE 2015



RESUMEN

Las soluciones actuales de uniones entre diferentes elementos estructurales de hormigón prefabricado no garantizan en su totalidad el monolitismo, con lo que no resultan eficaces sin realizar intervenciones “in situ”, especialmente en zonas sísmicas, razón por la cual surge la necesidad de estudiar este tipo de conexiones. Es por ello que el objeto del estudio se centra en el comportamiento estructural, la resistencia y la rigidez de las juntas o conexiones de los elementos estructurales conformados por muros y losas TT prefabricados-pretensadas de hormigón de sección constante y variable.

Para ello se realizó el análisis estructural de las conexiones con el uso del software SAP2000 V.17. con el cual se modeló la estructura en sus variantes de luz y sección a través de dos métodos. El primero de ellos se basó en la utilización de Elementos “Frame” y el segundo a través de la modelación de la estructura por Elementos Finitos.

Una vez modelada la estructura, se realizó el análisis e interpretación de los resultados; donde se pudo concluir que las losas TT de sección variable proporcionan una mayor rigidez a la estructura frente a las losas TT de sección constante, llegando de esta manera a tener mayor continuidad, con lo que se puede llegar a tener un comportamiento monolítico de la estructura. Así mismo las losas TT de sección variable poseen una resistencia mucho mayor a cortante, tienen un mejor comportamiento ante cargas laterales y una significativa reducción de las deflexiones.

PALABRAS CLAVE

Hormigón pretensado, Elementos prefabricados, Losas TT, Conexiones, Análisis estructural, Modelación, Elementos Frame, Elementos finitos.



ABSTRACT

Current solutions of connections between different structural elements made of prefabricated concrete does not fully guarantee the monolithic system, which are ineffective without “in situ” interventions, especially in seismic areas, which is why there is a need to study these kinds of connections. It is for this reason that the objective of this study focuses on the structural behavior, the strength and rigidity of the joints or connections of structural elements formed by walls and TT prefabricated-prestressed concrete slabs of constant and variable section.

To do this, structural analysis was performed on the use of software SAP2000 V.17. with which the structure was modeled in combinations of length and section through two methods. The first is based on the use of “Frame” elements and the second through modeling the structure by finite elements.

After the structure is modeled, the analysis and interpretation of the results were completed; where it can be concluded that TT slabs of variable section provide greater rigidity to the structure against TT slabs of constant section, reaching in this way to have more continuity, so it can have a monolithic behavior of the structure. Additionally, the TT slabs of variable section have a much higher shear resistance. They have a better behavior under lateral loads and a significant reduction in the deflections.

KEYWORDS

Prestressed concrete, Prefabricated elements, TT slabs, Connections, Structural analysis, Modeling, Frame Elements, Finite elements.



ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 JUSTIFICACIÓN	14
1.3 OBJETIVO GENERAL	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5 RESUMEN DE CONTENIDOS	15
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 CONCEPTOS Y RELACIONES FUNDAMENTALES.....	17
2.1.1 INTRODUCCION AL HORMIGÓN PRETENSADO	17
2.1.2 HORMIGÓN PARA PRETENSADO	18
2.1.3 ACERO PARA PREENFORZADO	19
2.1.3 HORMIGONADO IN SITU	20
2.1.3 ELEMENTOS PREFABRICADOS	22
2.1.4 MODELACIÓN ESTRUCTURAL	23
2.2 LOSAS TT.....	25
2.2.1 INTRODUCCIÓN A LOSAS TT PREFABRICADAS.....	25
2.2.2 SECCIÓN CONSTANTE EN LOSAS TT	27
2.2.3 SECCIÓN VARIABLE EN LOSAS TT	28
2.3 CONEXIONES EN LOSAS TT PREFABRICADAS	29
2.4 CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA EL ESTUDIO	31
2.4.1 HIPOTESIS DE APOYO PARA LOSAS TT DE SECCION CONSTANTE	31
2.4.2 HIPOTESIS DE APOYO PARA LOSAS TT DE SECCIÓN VARIABLE 32	
CAPÍTULO III: ANÁLISIS ESTRUCTURAL	33
3.1 GENERALIDADES.....	33
3.2 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS	33
3.2.1 PÓRTICO TIPO 1	33
3.2.1. PÓRTICO TIPO 2	34
3.3 ANÁLISIS DE CARGAS.....	35
3.3.1 CARGAS MUERTAS.....	35



3.3.2	CARGAS VIVAS.....	36
3.3.3	CARGA SÍSMICA.....	37
3.3.4	CARGAS DE VIENTO.....	47
3.3.5	COMBINACIONES DE CARGA POR EL MÉTODO LRFD.....	49
3.4.2	MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF).....	60
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		65
4.1	RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN POR ELEMENTOS “FRAME”.....	65
4.1.1	RESULTADOS OBTENIDOS DE MOMENTO Y CORTANTE PARA LAS LOSAS DE SECCIÓN CONSTANTE.....	65
4.1.2	RESULTADOS OBTENIDOS DE MOMENTO Y CORTANTE PARA LAS LOSAS DE SECCIÓN VARIABLE.....	68
4.2	RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS.....	72
4.2.1	RESULTADOS PARA UNA LUZ DE 12m.....	74
4.2.2	RESULTADOS PARA UNA LUZ DE 14m.....	74
4.2.3	RESULTADOS PARA UNA LUZ DE 16m.....	74
4.2.4	RESULTADOS PARA UNA LUZ DE 18m.....	74
4.3	CÁLCULO DEL REFUERZO EN LA CARPETA PARA MOMENTO NEGATIVO EN LOSAS TT DE SECCION VARIABLE.....	75
4.3.1	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE ACERO DE REFUERZO.....	76
4.3.2	REVISIÓN DE LA CAPACIDAD A CORTANTE.....	78
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		81
5.1	CONCLUSIONES.....	81
5.2	RECOMENDACIONES.....	83
7	ANEXOS.....	85
7.1	DIAGRAMAS DE MOMENTO, CORTANTE, Y AXIAL.....	85
8	BIBLIOGRAFÍA.....	89



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 : Curva Tensión-Deformación para un cordón de baja relajación Grado 270.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 2: Hormigonado in situ de conexión Muro-Losa TT. Proyecto Universidad de Cuenca, Balzay</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 3: Izaje de una viga prefabricada-pretensada. Proyecto Universidad de Cuenca, Balzay.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 4: Modelación estructural por Elemento Finitos. SAP2000</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 5: Definición de la sección a través de “Section Designer”. SAP2000.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 6: losa TT de sección constante.</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 7: Sección transversal losa TT de sección constante.</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 8: Losas TT para aulario Facultad de ingeniería. Proyecto Universidad de Cuenca, Balzay.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 9: Geometría de losas TT de sección constante.</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 10: Geometría de losas TT de sección variable.</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 11: Conexión losa TT-muro. Proyecto Universidad de Cuenca, Balzay.</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 12: Conexiones típicas entre elementos prefabricados.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 13: Hipótesis de apoyo para losas TT de sección constante</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 14: Hipótesis de apoyo para losas TT de sección variable.</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 15: Geometría pórtico tipo 1</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 16: Geometría pórtico tipo 2</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 17: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor Z[17]</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 18: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.[17].....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 19: Vistas estructura modelada en AutoCAD Civil3D.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 20: Interfaz Gráfica de SAP2000</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 21: Interfaz gráfica para elementos 2D Frames en SAP2000</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 22: Interfaz gráfica de la pestaña “Assign” en SAP2000.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 23: Interfaz gráfica de la pestaña “Define” en SAP2000</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 24: Interfaz gráfica de la pestaña “Assign-Materials” en SAP2000.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 25: Interfaz gráfica de la pestaña “Define- Section Properties- Frame Sections” en SAP2000</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 26: Interfaz gráfica de la pestaña “Frame Properties” en SAP2000.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 27: Interfaz gráfica de la pestaña “Rectangular Section” en SAP2000</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 28: Interfaz gráfica de la pestaña “Section Designer” en SAP2000</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 29: Interfaz gráfica de la pestaña “Section Designer” en SAP2000</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 30: Interfaz gráfica de secciones asignadas en SAP2000</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 31: Interfaz gráfica de la estructura modelada en SAP2000.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 32: Interfaz gráfica de la estructura modelada con diferentes vistas en SAP2000... </i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 33: Diagrama de cargas “Muertas” asignadas a la Estructura</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 34: Diagrama de cargas “Vivas” asignadas a la Estructura</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 35: Diagrama de cargas de “Sismo” asignadas a la Estructura</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 36: Diagrama de Cortante para la combinación de carga: 1.2D+1.6L</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 37: Diagrama de Cortante para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 38: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga: 1.2D+1.6L</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 39: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 40: Diagrama de Reacciones para la combinación de carga: 1.2D+1.6L</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 41: Diagrama de Fuerzas Reacciones para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 42: Diagrama de Deflexiones para la combinación de carga: 1.2D+1.6L</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 43: Diagrama de Deflexiones para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 44: Diagrama de Momentos para la combinación de carga: 1.2D+1.6L</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 45: Diagrama de Momentos para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 46: Estructura Modelada en AutoCAD Civil3D para modelamiento mediante “Solids”</i>	<i>60</i>



<i>Ilustración 47: Modelamiento por división de caras en AutoCAD Civil3D.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 48: Estructura importada desde AutoCAD a SAP2000.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 49: Estructura modelada en SAP2000 mediante elementos “Solids”</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 50: Discretización del elemento “Solids”.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 51: Asignación de restricciones al elemento</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 52: Asignación de propiedades del material al elemento.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 53: Combinaciones de carga para el elemento</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 54: Cargas asignadas al elemento</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 55: Estructura modelada por elementos “Solids”</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 56: Zonas de análisis de momento y cortante para losas TT de sección constante.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 57: Cortantes máximos para losas TT de sección constante.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 58: Deflexiones máximas para losas TT de sección constante</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 59: Zonas de análisis de momento y cortante para losas TT de sección variable....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 60: Momentos máximos para losas TT de sección variable.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 61: Cortantes máximos para losas TT de sección variable.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 62: Deflexiones máximas para losas TT de sección variable</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 63: Axiales máximas para losas TT de sección variable.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 64: Vista frontal de la estructura modelada con elementos finitos</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 65: Vista superior de la estructura modelada en elementos finitos.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 66: Vista en perspectiva de la estructura modelada en elementos finitos</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 67: Armadura de refuerzo en la sección maciza</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 68: Cortante para losas TT de sección constante</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 69: Cortante para losas TT de sección variable</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 70: Resistencia a cortante de las losas TT.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 71: Cortante último máximo en losas TT para la combinación 1</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 72: Cortante último máximo en losas TT para la combinación 2</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 73: Deflexiones máximas en losas TT de sección constante y variable para la combinación 1</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 74: Deflexiones máximas en losas TT de sección constante y variable para la combinación 2</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 75: Diagrama de Momentos para la combinación de carga 1, con L=12m.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 76: Diagrama de Fuerzas Cortantes para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Constante.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 77: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Constante.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 78: Diagrama de Momentos para la combinación de carga 2, con L=12m.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 79: Diagrama de Fuerzas Cortantes para la combinación de carga 2, con L=12m y sección Constante.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 80: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga 2, con L=12m y sección Constante.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 81: Diagrama de Momentos para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 82: Diagrama de Fuerzas Cortantes para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 83: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 84: Diagrama de Momentos para la combinación de carga 2, con L=12m y sección Variable</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 85: Diagrama de Fuerzas Cortantes para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 86: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable</i>	<i>88</i>



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades del acero para pretensado	19
Tabla 2: Matriz de Pórticos Analizados	33
Tabla 3: Carga muerta para losas TT de sección constante para luces de 12, 14, 16, y 18m ..	36
Tabla 4: Carga muerta para losas TT de sección variable para luces de 12, 14, 16, y 18m.....	36
Tabla 5: Carga viva mínima uniformemente distribuida. Tomado de [16].	37
Tabla 6: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada	38
Tabla 7: Clasificación de los perfiles de suelo[17]	39
Tabla 8: Tipo de Suelo y Factores de sitio F_a [17]	40
Tabla 9: Tipo de suelo y Factores de sitio F_d [17].....	40
Tabla 10: Tipo de Suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s [17].....	40
Tabla 11: Valores de Δm máximos expresados como fracción de la altura de piso[17]	42
Tabla 12: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura[17].....	42
Tabla 13: Coeficiente de reducción de respuesta estructural R[17]	44
Tabla 14: Resumen de Datos y Factores de Sismo para la Ubicación del Proyecto	46
Tabla 15: Cargas para pórticos conformados por losas doble TT de sección constante de luces con 12, 14, 16 y 18metros.....	46
Tabla 16: Cargas para pórticos conformados por losas doble TT de sección variable de luces con 12, 14, 16 y 18metros.....	47
Tabla 17: Valores de coeficiente de corrección σ . Tomado de [16].....	48
Tabla 18: Cargas asignadas al pórtico tipo.....	56
Tabla 19: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección constante para $L=12m$	66
Tabla 20: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección constante para $L=14m$	66
Tabla 21: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección constante para $L=16m$	66
Tabla 22: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección constante para $L=18m$	67
Tabla 23: Resumen de valores máximos para losas TT de sección constante.....	67
Tabla 24: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección variable para $L=12m$	69
Tabla 25: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección variable para $L=14m$	69
Tabla 26: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección variable para $L=16m$	69
Tabla 27: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección variable para $L=18m$	70
Tabla 28: Resumen de valores máximos para losas TT de sección variable.....	70
Tabla 29: Resultados de momento y cortante obtenidos para una luz de 12m.....	74
Tabla 30: Resultados de momento y cortante obtenidos para una luz de 14m.....	74
Tabla 31: Resultados de momento y cortante obtenidos para una luz de 16m.....	74
Tabla 32: Resultados de momento y cortante obtenidos para una luz de 18m.....	75
Tabla 33: Resumen de valores obtenidos.....	75
Tabla 34: Resumen de valores obtenidos para acero de refuerzo en la carpeta	78
Tabla 35: Cortante para losas TT de sección constante	79
Tabla 36: Cortante para losas TT de variable.....	79



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Carlos Andrés Argudo Zapata, 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 autor.

Cuenca, Noviembre del 2015

Carlos Andrés Argudo Zapata
CI: 0104817465



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Hugo Fabián Castillo Barahona, 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 autor.

Cuenca, Noviembre del 2015

Hugo Fabián Castillo Barahona
CI: 1401029010



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Carlos Andrés Argudo Zapata, autor de la tesis "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE NUDOS CONFORMADOS POR MUROS Y LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y VARIABLE, PARA LUCES DE 12, 14, 16 Y 18 METROS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, noviembre del 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Argudo Zapata".

Carlos Andrés Argudo Zapata
CI: 0104817465



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Hugo Fabián Castillo Barahona, autor de la tesis "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE NUDOS CONFORMADOS POR MUROS Y LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y VARIABLE, PARA LUCES DE 12, 14, 16 Y 18 METROS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, noviembre del 2015

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping letters.

Hugo Fabián Castillo Barahona
CI: 1401029010



DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo de graduación a mis padres y hermana por su apoyo incondicional durante mi vida universitaria, a ellos por ser mi fuerza y mi razón de seguir adelante.

A mi abuelito Efraín, por estar siempre conmigo desde mis primeros días.

Carlos

A Dios, por permitirme alcanzar una más de mis metas propuestas y especiales en mi vida, por los triunfos y derrotas que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres Bolívar y Elsa, quienes me han apoyado en todo momento e inculcado valores desde mi infancia, quienes me han enseñado el valor del sacrificio y esfuerzo.

A todos mis hermanos Milena, Diana, Enrique, Sandra y en especial a mi hermano mayor Efrén, quien básicamente ha sido más que un hermano, un segundo padre, quien me ha apoyado incondicionalmente en este arduo camino para convertirme en un profesional.

A mi novia Estefanía, quien ha sido un pilar fundamental y sentimental, quien me ha apoyado y comprendido todo este tiempo.

Hugo



AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer profundamente a nuestras FAMILIAS por ser un pilar fundamental en este logro y por siempre confiar en nosotros.

A nuestros PROFESORES y en especial a nuestro DIRECTOR DE TESIS el Ing. Julver Pino Msc., así también al Doctor Ing. Nelson Navarro por la apropiada dirección del presente trabajo y por sus conocimientos entregados durante todo este tiempo.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Aunque la tecnología constructiva de elementos prefabricados ha avanzado con rapidez en países desarrollados como EEUU, en nuestro país y específicamente en la ciudad de Cuenca su uso es casi nulo. Ecuador al ser un país en desarrollo, ha mostrado un crecimiento poblacional elevado, razón por la cual el sector de la construcción presenta una mayor demanda y es por esto que se ha despertado la necesidad de desarrollar sistemas constructivos más eficientes, seguros y que respondan de mejor manera a las exigencias de nuestro medio.

Estudios previos demostraron las bondades del uso de elementos prefabricados en las distintas obras civiles. Existe variada literatura como el trabajo de tesis de grado presentado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, “Investigación de las principales tecnologías constructivas de edificaciones utilizadas en la ciudad de Cuenca” [1], donde se exponen las principales ventajas del uso de elementos prefabricados, entre ellas una relación de costes más favorable, el menor impacto ambiental, mayor control y la calidad final de los elementos, menor cantidad de mano de obra, mayor seguridad, entre otras.

Aún más relacionado con el presente trabajo de titulación se puede citar la tesis desarrollada en la Universidad de Cuenca, “Diseño estructural de losas TT prefabricadas – pretensadas con extremos rígidos” [2]. Este trabajo nos da conocer las características y parámetros principales de las losas TT de sección variable por el macizado de los extremos. Así mismo nos presenta una detallada metodología para el diseño de estos elementos en hormigón pretensado.

El método del macizado de los extremos de las losas TT se utilizó inicialmente en Cuba y localmente se lo ha implementado en las obras correspondientes al El Parqueadero soterrado del Parque de la Madre y en El edificio aulario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, en Balzay, proyectos que fueron diseñados por el Dr. Nelson Navarro.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Son evidentes los cambios que se han dado en la construcción con la implementación de nuevas tecnologías, donde gradualmente se va reemplazando el uso de encofrados artesanales constituidos por postes de madera rústica, tablas, etc., por elementos prefabricados. La idea de no hormigonar In Situ las construcciones mediante encofrados, sino de realizar la construcción con ayuda de elementos de concreto hormigonados en lugares distintos a la obra, es nueva en nuestro medio, es por esto que se requiere profundizar los conocimientos en esta área con el fin de desarrollar sistemas constructivos que involucren estos elementos.



En base a esto, se busca conseguir en mayor medida la industrialización de la construcción, con ello se podría construir viviendas, escuelas, hoteles o programas masivos de vivienda social.

La alternativa que se plantea, contribuye como una solución viable para el avance de la construcción en la ciudad de Cuenca, particularmente para los casos de conexión Viga – Losa TT o Muro – Losa TT. En el campo estructural, los elementos resistentes de un edificio deben resistir las acciones a que está sometido de forma conjunta, por lo que el desempeño de las conexiones puede condicionar totalmente el comportamiento de la estructura; es por eso que a través de este estudio se pretende demostrar que estos elementos estructurales de diseño garanticen el monolitismo y continuidad de la estructura.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los nudos conformados por Muro verticalmente continuo, y losas doble T de sección constante y variable, con luces del orden de 12, 14, 16 y 18 metros, a través del modelamiento estructural con el software SAP 2000 V17.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el modelamiento de los tipos de Losas TT de sección constante y variable respectivamente, utilizando elementos “Frame” y “Solids” con SAP 2000 V.17.
- Conocer las características y parámetros principales que permitan diferenciar las losas TT de sección constante y extremos abiertos de los de sección variable por el macizado 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 los extremos de la estructura.
- Contrastar los resultados del análisis estructural de ambas variantes y concluir sobre sus características principales.

1.5 RESUMEN DE CONTENIDOS

Este trabajo dispone de cinco capítulos, los cuales son:

- **Introducción**
- **Marco Teórico**
Destaca la base teórica sobre la cual se sostiene la prefabricación, su composición como es el Hormigón y el acero; además el hormigonado In situ y la modelación estructural. También se expone la geometría de las Losas TT a analizarse y sus condiciones de apoyo con sus respectivas conexiones.



- **Análisis Estructural**

Se presenta las condiciones geométricas de la estructura en su compleción a modelar, así también las cargas gravitacionales y horizontales con sus respectivas combinaciones a la cual estará sometida la misma.

- **Resultados**

Se menciona los resultados obtenidos a través de la modelación estructural por medio del software SAP2000, en la cual se presenta los momentos máximos y fuerzas cortantes que adquieren las Losas TT en los extremos superiores, dando una breve solución estructural al modelo para que su comportamiento sea lo más parecido al diseño preestablecido. Para una mejor comprensión se ilustran capturas de pantalla de los modelos realizados en el programa y los resultados tabulados en Excel.

- **Conclusiones y Recomendaciones**

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye dando soluciones y recomendaciones para futuras investigaciones en el campo de la prefabricación.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS Y RELACIONES FUNDAMENTALES

2.1.1 INTRODUCCION AL HORMIGÓN PRETENSADO

El pretensado se refiere a cargar intencionalmente esfuerzos de compresión en una estructura de manera permanente y previo a su puesta en servicio, con el objetivo de mejorar las prestaciones de la estructura, los principios y metodologías del pretensado se han aplicado a varios tipos de materiales estructurales, sin embargo, la aplicación más común ha sido en el diseño del hormigón armado gracias a sus características fundamentales en compresión y tensión.

Esta técnica se emplea para superar la debilidad natural del hormigón frente a esfuerzos de tracción, y fue patentada por Eugène Freyssinet en 1928. [3]

El concepto del hormigón pretensado consistió en aplicar a vigas suficiente precompresión axial por medio de cables acero de alta resistencia para que se eliminaran todos los esfuerzos de tensión que actuaran en el hormigón; otra definición es entregada por el ACI que propone lo siguiente:

“Concreto Pretensado: Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado”

Ventajas del Hormigón Pretensado:

- Control en fábrica de la calidad de materiales y método constructivo.
- Reducir considerablemente posibles fallas de factor humano.
- Salvar grandes luces con cantos muy reducidos.
- Eliminación de fisuras por estar sometido a esfuerzos de compresión bajo las hipótesis de carga.
- Comportamiento elástico y utilización de la sección total.
- Ahorro de acero debido a la posibilidad de utilizar totalmente la armadura hasta cerca de su límite elástico y, como consecuencia, una reducción de la cuantía.
- Como el hormigón no se agrieta, la posibilidad de acero a la corrosión y el deterioro de hormigón se reducen al mínimo.
- Ausencia de grietas resulta en una mayor capacidad de la estructura para soportar la carga de esfuerzos, impactos, vibraciones y golpes.
- En vigas de hormigón pretensado, las cargas muertas son prácticamente neutralizadas. Las reacciones a ser requeridas por lo tanto mucho más pequeña que la requerida en hormigón armado.
- Aligeramiento de la construcción y, por tanto, reducción de las secciones de elementos sustanciales como pilares y cimientos. [4]
- El uso de los tendones y la curva antes de la compresión del hormigón ayuda a resistir al corte.



- La cantidad de acero necesario para pretensado aproximadamente 1 / 3 de la requerida para el hormigón armado, aunque el acero para el pretensado debe ser de alta resistencia.
- En concreto pretensado, bloques prefabricados y elementos pueden aceptarse y utilizarse como una unidad. Esto ahorra en el costo de encofrado y el centrado de grandes estructuras.[5]

Desventajas del Hormigón Pretensado:

- Aplicación del pretensado en obras de pequeña y mediana importancia.
- Elevado costo de transporte e izado de la estructura, para los cuales se requiere grúas de gran capacidad y coste.
- Se requiere de acero de alta resistencia, que es de 2.5 a 3.5 veces más costoso que el acero suave.
- Se requiere complicadas tensión equipos y dispositivos de anclaje, que suelen ser cubiertos por los derechos patentados.
- La construcción requiere supervisión perfecta en todas las etapas de la construcción. [5]

2.1.2 HORMIGÓN PARA PRETENSADO

El concreto preesforzado necesita emplear materiales de resistencia elevada, ya que en hormigón pretensado la armadura es una fuerza creada artificialmente con el objetivo de que la sección entera trabaje a compresión, eliminándose los esfuerzos de tracción y por tanto la fisuración. [4]

Por lo tanto se requiere un hormigón de alta resistencia que con el uso de aditivos, un correcto curado(a vapor de preferencia), relaciones agua/cemento del 35% y agregados de buena calidad que cumplan la norma ASTM C33[6], se puede alcanzar resistencias entre 400 y 500 Kg/cm².

Esto no significa que no se pueda hacer preesforzado con concretos de menor resistencia, pero no es lo más económico ni conveniente.

Así como el hormigón armado, el hormigón a ser preesforzado deberá cumplir las buenas características:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción
- Resistencia al corte
- Rigidez o módulo de elasticidad(E_c)
- Retracción, contracción del hormigón por efectos químicos durante el proceso de endurecimiento que dependen únicamente de la humedad y del tiempo.
- Fluencia lenta, debida al tiempo y esfuerzos permanentes.[2]

Para este estudio se considera un hormigón de resistencia

$$f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2.$$



2.1.3 ACERO PARA PREENFORZADO

Como veíamos anteriormente, el Hormigón resiste poco a tracción, para solucionar este inconveniente de la baja resistencia a tracción del hormigón, se hace que todo el hormigón trabaje a compresión, lo que se logra introduciendo fuerzas de pretensado en las zonas de tracción, dichas fuerzas se introducen mediante armaduras activas, las cuales se presentan en 3 tipos:

- *Alambre*: Producto de sección maciza, procedente de un estirado frío o trefilado de alambón que normalmente se suministra en rollo. Los alambres se suministran en bobinas.
- *Barra*: Producto de sección maciza, se suministra en elementos rectilíneos.
- *Cordón*: Formado por varios alambres arrollados helicoidalmente.[7]

El material más utilizado como material de pretensado, es el cordón de siete alambres de acero de baja relajación Grado 270 definido por ASTM A416., a continuación se especifican las propiedades de los mismos:

Grado f_{pu} , ksi	Diámetro, in	Grado f_{pu} , kg/cm ²	Diámetro, mm	Área, cm ²	Masa, kg/m
270	3/8	19000	9.53	0.548	0.432
270	1/2	19000	12.7	0.987	0.79
270	3/5	19000	15.24	1.387	1.104

Tabla 1: Propiedades del acero para pretensado

El *Manual de Diseño PCI* del Prestressed Concrete Insitute, 5° Edición contiene una curva tensión-deformación para este material, la cual se muestra en la Ilustración 2.1

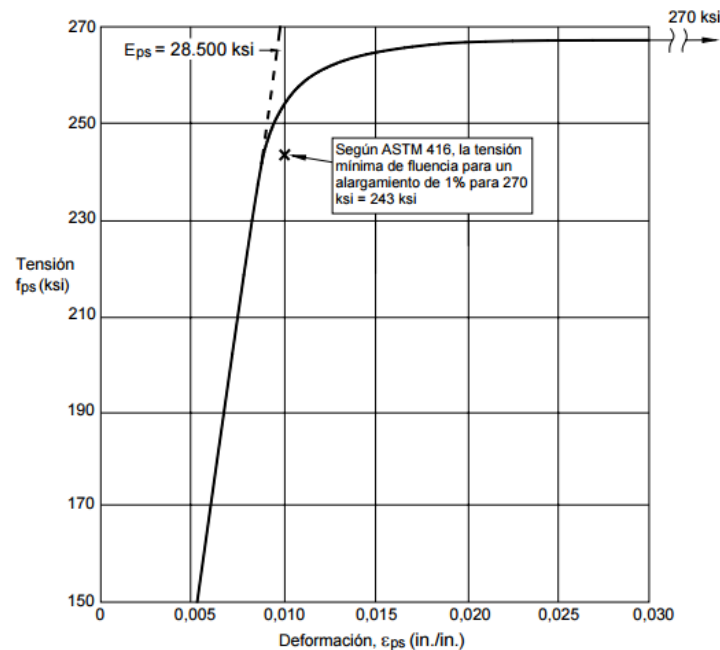


Ilustración 1 : Curva Tensión-Deformación para un cordón de baja relajación Grado 270



Esta curva se puede aproximar con las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ps} \leq 0.0086: f_{ps} &= 28.500 \varepsilon_{ps} \text{ (ksi)} \\ \varepsilon_{ps} > 0.0086: f_{ps} &= 270 - \frac{0.04}{\varepsilon_{ps} - 0.007} \text{ (ksi) [8]}\end{aligned}$$

Uno de los mayores problemas de este material es la corrosión, que afecta en gran medida con respecto al acero tradicional (refuerzo pasivo), por lo cual se debe tener muy en cuenta al momento de elaborar la estructura y al ponerla en funcionamiento.

También se deberá tener en cuenta la relajación que sufre el acero, que es la pérdida de la fuerza de preesfuerzo a lo largo del tiempo, como también la adherencia entre refuerzo y hormigón, para asegurar la transmisión de las fuerzas. En este documento no haremos énfasis a estos contenidos debido a que no corresponde directamente con el tema a estudiar.

2.1.3 HORMIGONADO IN SITU

El hormigonado in situ es un sistema constructivo del hormigón, en el cual este se elabora y deposita en el lugar de la obra con el fin de formar una estructura. La característica principal del hormigonado in situ es la continuidad que se obtiene, consiguiendo una acción monolítica sin dificultad entre los elementos que conforman la estructura.

Este sistema constructivo a diferencia del prefabricado, presenta ciertas ventajas; a través de este método el hormigón se puede adaptar a múltiples formas con lo que se logra aplicar a la mayoría de construcciones, así mismo se consigue una mayor rigidez de las estructuras y su aplicación se ha vuelto más sencilla con el desarrollo de nuevas formas de colocación del hormigón.



Ilustración 2: Hormigonado in situ de conexión Muro-Losa TT. Proyecto Universidad de Cuenca, Balzay

FASES CONSTRUCTIVAS DEL HORMIGONADO IN SITU

Este sistema constructivo contempla varias etapas, las cuales son:

- Las actividades de selección, recepción, almacenaje y ensayos de los materiales que conforman el hormigón. Este punto es importante ya que nos permite conocer las propiedades físicas de la materia prima y su comportamiento, las cuales determinarán la calidad del hormigón.
- El diseño de la mezcla del hormigón. Se lo puede elaborar de dos maneras, una mediante una concretara a pie de obra y la otra a través de plantas dosificadoras. La primera forma es más utilizada en construcciones pequeñas donde se tiene un menor control de calidad, mientras que la segunda es utilizada en construcciones de mayor envergadura donde el hormigón debe alcanzar las resistencias requeridas en el diseño.
- El transporte del hormigón, si este ha sido elaborado en plantas dosificadoras se lo hace a través de los llamados “camiones mixer”; la selección del tipo de camión dependerá de la cantidad de hormigón a transportar y de la distancia a la obra.
- La elaboración del encofrado; este le dará la forma proyectada definitiva al hormigón, los cuales deben ser lo suficientemente rígidos con el fin de soportar el peso de todo el volumen conteniendo. Los encofrados pueden ser artesanales, constituidos por postes de madera rústica, tablas, etc., los mismos que son utilizados en los métodos de construcción “tradicionales”, mientras que para obras de mayor magnitud, los sistemas de encofrados, como puntales, gatos hidráulicos, tableros metálicos, y cierto número de piezas rígidas, son de gran aceptación en el mercado, especialmente cuando la construcción es de envergadura y requiere encofrado y desencofrado rápido [1].
- Los trabajos de la armadura del acero, si es que se trata de hormigón armado.



- Vertido del hormigón. La forma de hacerlo dependerá de la magnitud de la obra, puede ser manual, a través de modernas grúas de hormigón de alto rendimiento o por grúas telescópicas.
- Finalmente la compactación y curado del hormigón. La compactación se consigue mediante el varillado, apisonado o vibrado del hormigón en estado fluido. Mientras que el curado se lo realiza con relativa facilidad a través del curado con agua, con materiales sellantes y curado al vapor. Con un buen curado se garantiza la resistencia, durabilidad y longevidad al hormigón.

Y si bien no ha variado estructuralmente con los años, sí ha ocurrido una nueva conceptualización de algunas de sus actividades integrantes, como son la preparación, la transportación, la recepción, la entrega, el vertido y la compactación de la mezcla de hormigón. Mejorando con el paso de los años cada una de estas actividades, lo cual tiene una importancia decisiva en la durabilidad de las estructuras de hormigón y en la aparición de determinadas manifestaciones patológicas, por lo que el hormigonado in situ se ha convertido en una opción competitiva al prefabricado [9]. Ello se ha sustentado en un conjunto de factores entre los cuales se destacan:

- El desarrollo del hormigón premezclado en todo el país.
- Experiencia adquirida durante la práctica, con una extensa trayectoria durante muchos años en este modo de construcción. Este aspecto está presente no solo en los ejecutores de obra sino también en los diseñadores.[1]
- La utilización extensiva de los aditivos químicos para el hormigón.
- El desarrollo de modernos sistemas de encofrados modulares de utilización universal.
- El empleo de acero de refuerzo de elevada resistencia.
- La introducción de un amplísimo surtido de equipos, capaces de asegurar los flujos que garanticen un vertido eficiente del hormigón.

2.1.3 ELEMENTOS PREFABRICADOS

Se podría decir que un elemento prefabricado es aquella pieza de hormigón que se elabora de forma industrial en un lugar distinto a la obra. Este sistema constructivo incorpora una mayor participación tecnológica, con procesos de producción estandarizados y por ende un mayor control de calidad.

En este proceso productivo que de forma racional y automatizada emplea materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas, sean en serie o no, los prefabricados pueden generar elevados rendimientos en obra, optimizando los recursos y sin afectar la calidad del producto.

El uso de este sistema se remonta muchos años atrás, pero es a partir de la segunda guerra mundial que tuvo un gran desarrollo debido a la falta de viviendas y a la necesidad de construir campamentos de forma rápida y con menor mano de obra. Con el paso del tiempo se ha venido desarrollando esta tecnología en diferentes partes del mundo, como es el caso de Cuba, con el Sistema Sandino, Sistema Gran Panel IV,VI, 70 , destinados a la construcción de edificios para viviendas [10].



Ilustración 3: Izaje de una viga prefabricada-pretensada. Proyecto Universidad de Cuenca, Balzay.

Este sistema constructivo presenta una serie de ventajas y desventajas frente al hormigonado in situ. En la actualidad la construcción con prefabricados se ha visto afectada por el elevado consumo energético invertido en la producción, transportación y montaje, las elevadas inversiones iniciales y la rigidez [9]. Sin embargo la prefabricación ofrece varias ventajas, razón por la cual su uso se ha incrementado cada vez más en nuestro medio. Algunas de ellas son:

- Una mejor calidad de los elementos.
- Un control más riguroso del proceso constructivo.
- Reducción de costos.
- Reducción de la mano de obra.
- Reducción del tiempo de ejecución de la obra.
- Humanización del trabajo; se tiene mayor seguridad, por lo que se reducen los accidentes laborales.
- Es más amigable con el medio ambiente.
- Se reduce el desperdicio de materiales.
- Menor dependencia de las condiciones climáticas.
- Fabricación en masa de unidades normalizadas, reduce considerablemente el uso de andamios y encofrados.

Es muy importante la accesibilidad de los proyectistas para considerar elementos prefabricados desde la etapa del diseño y plantear soluciones de las uniones de los elementos prefabricados. Estas consideraciones pueden traer beneficios a los proyectos porque mejora el costo y el tiempo durante la etapa de ejecución[11].

2.1.4 MODELACIÓN ESTRUCTURAL

El análisis del comportamiento de una estructura se lleva a cabo sobre modelos de ésta. Un modelo es una representación idealizada o simplificada de la estructura real.



El objetivo de la modelación es la predicción de esfuerzos, tensiones, movimientos y deformaciones que se producen en los elementos estructurales bajo diferentes tipos de solicitaciones.

Se puede decir que la modelación estructural abarca aspectos como:

- A la identificación de la estructura resistente que compone la edificación.
- A la geometría.
- Las cargas.
- Al material de los mismos.
- A la representación de las conexiones entre elementos y de las condiciones de apoyo.
- A la evaluación de las cargas (magnitud, situación, frecuencia y naturaleza)

En los últimos años el desarrollo de los sistemas computacionales ha permitido desarrollar métodos de análisis más sofisticados, con el uso de herramientas como ordenadores cada vez más versátiles que nos permiten comprender y analizar los diferentes elementos estructurales y su comportamiento.

Los programas computacionales deben de ser capaces de proveer información confiable y suficiente, con el fin de entender las respuestas de los diferentes elementos ante las solicitaciones a las que son sometidos.

Con el avance tecnológico se han desarrollado efectivos métodos de modelación estructural y uno de ellos es el Método de Elementos Finitos (MEF), esto ha permitido la creación de múltiples plataformas para implementar la teoría MEF, de las cuales SAP2000 es una de ellas.

El objetivo del presente estudio será la modelación de las losas TT de sección constante y variable respectivamente, utilizando elementos “Frame” y “Solids” (Método de Elementos Finitos) mediante el software SAP2000© V.17, de la firma Computers and Structures Inc.

Los modelos definitivos se analizan por el Método de Elementos Finitos para idealizar las Losas y poder determinar los esfuerzos a que son sometidas bajo diferentes condiciones de carga. El análisis del conjunto de modelos seleccionado, mediante el software mencionado permitirá determinar la variación de los esfuerzos en sus puntos críticos.

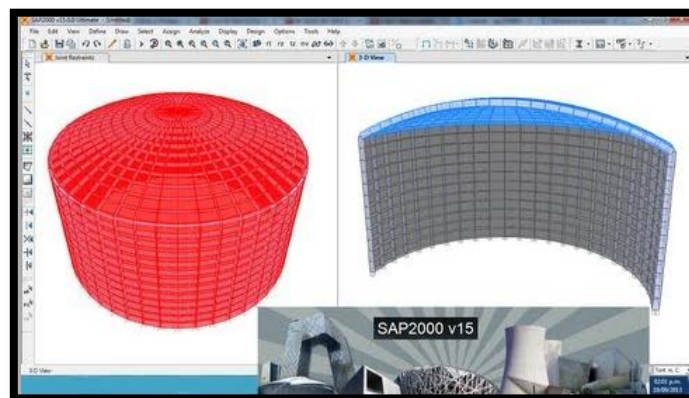


Ilustración 4: Modelación estructural por Elemento Finitos. SAP2000

Con el mismo fin, se representarán las losas con elementos “Frame”. Los elementos “Frame” son herramientas que nos ofrece el programa con el fin de modelar ciertas secciones tipo, como vigas rectangulares, cuadradas, circulares, ángulos, etc. Para el caso de la Losa TT se utilizará el comando “Section Designer”, el cual nos permite dibujar y definir secciones de cualquier forma geométrica, tanto en concreto armado como de acero. Es posible incluir de manera arbitraria los aceros de refuerzo, o bien, combinación de secciones [12].

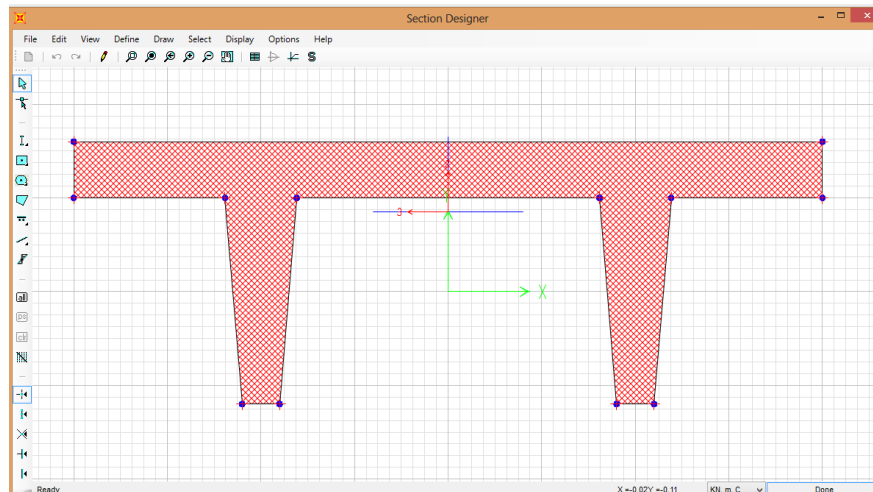


Ilustración 5: Definición de la sección a través de “Section Designer”. SAP2000

2.2 LOSAS TT

2.2.1 INTRODUCCIÓN A LOSAS TT PREFABRICADAS

El desarrollo de las diferentes industrias ha sido vertiginoso en los últimos años, y el sector de la construcción no debe ser la excepción. El avance tecnológico nos ha permitido innovar en los procesos, en los productos y los servicios; esto ha propiciado que se desarrollen nuevos sistemas de entresijos, más eficientes, de mejor calidad, que nos permitan una reducción de costos. Es decir sistemas de losas de entresijo más ventajosas que los sistemas tradicionales.

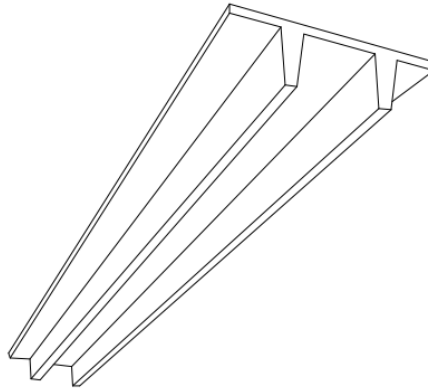


Ilustración 6: losa TT de sección constante.

Hoy en día se tiene en el mercado varios elementos de entrepiso prefabricados en la industria de la construcción. Para el caso de elementos de entrepiso, en el que se requiere salvar grandes luces, las losas TT prefabricadas-pretensadas son usadas frecuentemente por sus propiedades geométricas que responden de manera efectiva ante este tipo de requerimientos, mucho mejor que las losas macizas, ya que se obtiene mayor capacidad de carga con menor sección.



Ilustración 7: Sección transversal losa TT de sección constante.

Este tipo de estructuras de entrepiso tienen un vasto campo de aplicación, estas pueden ser usadas en entrepisos y cubiertas para naves industriales, bodegas, gimnasios, escuelas, clínicas, centros comerciales, estacionamientos, muros de retención, etc.

Pueden apoyarse directamente en muros prefabricados o de mampostería y vigas de acero estructural, de hormigón armado o de hormigón preesforzado.

Las losas son fabricadas en diferentes dimensiones, variando el peralte de las mismas de acuerdo a la luz que deban salvar. Como se dijo anteriormente este tipo de elementos se comportan eficazmente al salvar grandes luces, es por esto que para su fabricación se usa el hormigón pretensado. Un elemento de hormigón pretensado es aquel hormigón que posee acero de refuerzo con un esfuerzo de tracción previo y permanente. La compresión inicial dada por el cable pretensado compensa las tracciones que surgen en el servicio.

Son varias las ventajas que se consiguen con el uso de las losas prefabricadas-pretensadas, entre ellas se tiene la reducción de las dimensiones de las secciones transversales de los elementos, por ende se consigue una significativa reducción de la carga muerta, así mismo se tiene un mayor control de las deflexiones, reduciendo de esta manera el agrietamiento, y lo más importante se puede salvar luces más grandes que con el uso de otros sistemas de entrepiso, donde se consigue salvar luces de hasta 18m [13].

También es posible reducir el costo (15%) y tiempo (64% a 83%) en las losas de entrepiso utilizando elementos prefabricados respecto a los sistemas tradicionales. La reducción de tiempo también nos demandara menores gastos generales [11].

A pesar de las múltiples ventajas que nos ofrece el pretensado, existen ciertas complicaciones que se presentan en las losas con este procedimiento. En los elementos se imponen esfuerzos de compresión a hormigones de escasa edad, provocando mayores pérdidas de tensión del acero por acortamiento instantáneo del hormigón, y por el incremento de las deformaciones; así también es difícil modificar el trazado de los tendones, tendiendo más a trazados rectos que pueden conducir a excesos del preesfuerzo en aquellas secciones poco activadas por la carga exterior [14]. Además de esto se debe tener especial cuidado en el izaje y traslado de los elementos, donde los costos se pueden incrementar considerablemente si la fábrica esta distante a la obra.

Sin embargo antes de seleccionar algún sistema de entrepiso es conveniente realizar una evaluación costo-tiempo entre los diferentes tipos de losas, con ello se consigue seleccionar el sistema de entrepiso más eficiente para una determinada obra, teniendo en cuenta que no siempre se elige una opción por ser la más económica, sino también por otras ventajas como el tiempo, la calidad del producto, accesibilidad a la zona de trabajo, procesos constructivos seguros, reducción de gastos generales, etc.



Ilustración 8: Losas TT para aulario Facultad de ingeniería. Proyecto Universidad de Cuenca, Balzay.

2.2.2 SECCIÓN CONSTANTE EN LOSAS TT

Las losas TT de sección constante como su nombre lo indica, mantienen la misma sección a lo largo de toda la longitud del elemento. Son las losas TT más utilizadas y su elaboración es más rápida que las losas TT de sección variable debido a la mayor simplicidad del molde. Sin embargo este tipo de elementos presenta serios inconvenientes al no asegurar un comportamiento monolítico de la estructura. Estas

se apoyan directamente sobre los muros o vigas cargadoras, no obstante a través de este procedimiento la rigidez de la estructura se ve comprometida.

Como se dijo en la sección anterior, las dimensiones de la losa dependen de la luz del elemento, sin embargo para el presente estudio la sección de la losa TT será la misma para todas las luces (12, 14, 16 y 18m), la cual se presenta a continuación.

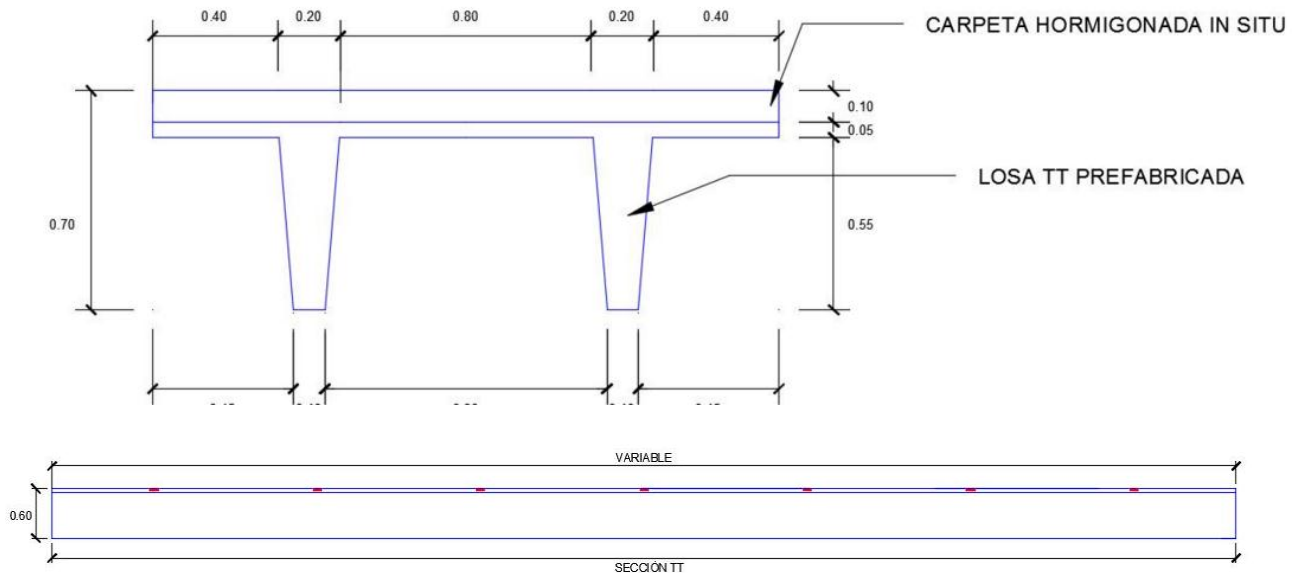


Ilustración 9: Geometría de lasas TT de sección constante.

2.2.3 SECCIÓN VARIABLE EN LOSAS TT

Existe una variación en la geometría de las losas TT y es la que se consigue con el macizado en el extremo de estos elementos; este macizado aumenta progresivamente desde el punto de transición hasta su máximo en el extremo del elemento, con esto se consigue una gran capacidad de resistencia a cortante y a momento negativo y por ende se alcanza mayor rigidez en la estructura.

Sin embargo no se puede afirmar que con este macizado se alcance un empotramiento perfecto; al momento de hormigonar la carpeta se usan barras de acero corrugado, las cuales se traslapan con las losas del siguiente tramo con lo que se alcanza una conexión semiempotrada.

La elaboración de este tipo de losas es un tanto más complejo que las de sección constante ya que existe mayor complejidad en la elaboración del molde, sin embargo el macizado aporta propiedades a la estructura para que esta se aproxime al monolitismo.

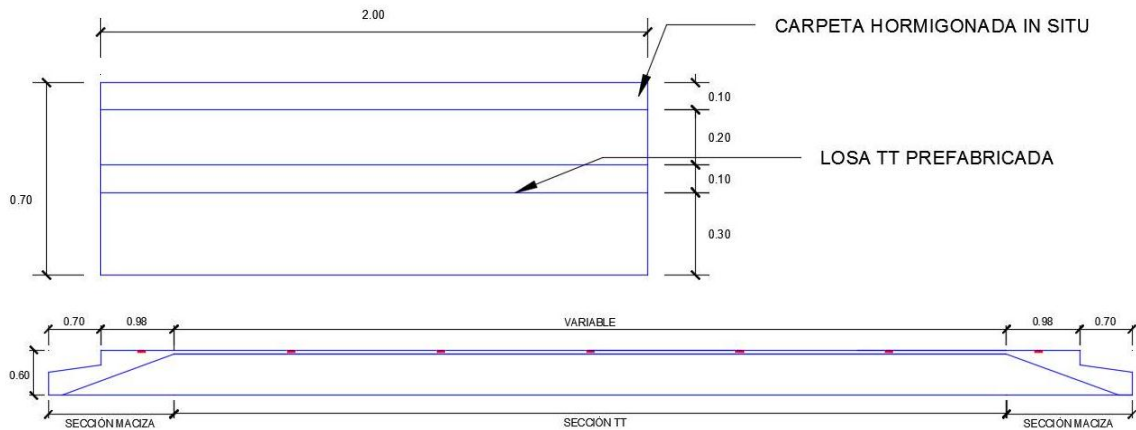


Ilustración 10: Geometría de lasas TT de sección variable.

2.3 CONEXIONES EN LOSAS TT PREFABRICADAS

Una estructura está constituida por el ensamblaje de miembros estructurales, formando un armazón, por lo que se requiere conexiones para que los diversos elementos permitan que la carga siga su flujo ordenado y continuo hasta llegar a los cimientos.

El diseño de los detalles adecuados de conexión es el trabajo más importante dentro de las estructuras prefabricadas, tanto que pueden afectar la economía del sistema, como también la respuesta a las cargas laterales y gravitacionales.

Las normas y manuales clasifican las conexiones en tres categorías:

- Conexiones Simples:
Estas conexiones presentan rotaciones grandes.
- Conexiones Rígidas:
Estas presentan rotaciones muy pequeñas
- Conexiones Semi-rígidas:

Estas presentan rotaciones cuya magnitud está comprendida entre los límites anteriores.

Existen grupos de conexiones comúnmente utilizadas:

- Refuerzo que sobresale de los elementos prefabricados, se traslapa o suelda y la junta entre los elementos se cuela con hormigón in situ.
- Colocando elementos de acero (ángulos y placas), uniendo entre si los elementos prefabricados por medio de soldadura y con un recubrimiento posterior, rellenando los huecos con lechada
- El refuerzo de los elementos viga, pasa a través de ductos de las columnas o muros en este caso, rellenándose con lechada.
- Las columnas o muros de concreto tienen huecos en la zona de nudos para conectar con los trabes.
- Utilizando acero de preesfuerzo postensado para unir los elementos viga-columna, viga-muro o losa-muro.[15]



Ilustración 11: Conexión losa TT-muro. Proyecto Universidad de Cuenca, Balzay.

Para éste estudio, las conexiones son losa TT-muro, se utiliza refuerzo estructural de hasta $\varnothing 25$ mm, posteriormente se vierte el hormigón haciendo que funcione como losas continuas, del mismo modo que el muro también sea continuo.

También se considera en nuestro estudio las conexiones losa TT (sección constante)- muro, pero haciendo que las losas trabajen como simplemente apoyadas.

El comportamiento de un sistema prefabricado sometido a fuerzas sísmicas dependerá mucho del comportamiento de la conexión.

Las conexiones se deben diseñar tomando en cuenta los siguientes factores:

- Transmitir el aplastamiento, cortante, momento, tensión y compresión axial.
- Resistir las etapas de carga durante la construcción hasta su etapa final.
- Resistir sobrecargas, de modo que no se presente la falla en las juntas y conexiones antes de la falla principal del elemento.
- Asegurar que el comportamiento durante cargas cíclicas sea el adecuado, garantizando la ductilidad de la estructura.

Tipos de conexiones

- *Conexión con ménsula corta.*- conocida así por su conexión cercana al paño de la columna.
- *Conexión con ménsula larga.*- conocida por estar alejada al paño; reduce los momentos en la zona de conexión.
- *Conexión con postensado.*- aquí las columnas pueden no tener ménsulas, no existe el problema de ductilidad.
- Unión con ménsulas con placas de acero en el lecho inferior y acero de refuerzo en el lecho superior.
- Unión con ménsulas con acero de refuerzo soldadas a placas en el lecho inferior y acero de refuerzo en lecho superior.
- Unión sin ménsulas, con huecos en las columnas para pasar el acero del lecho superior e inferior a través de la columna. [15]

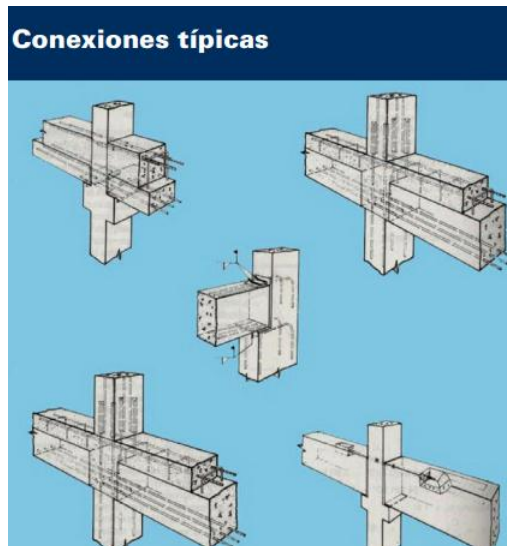


Ilustración 12: Conexiones típicas entre elementos prefabricados

2.4 CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA EL ESTUDIO

Cabe señalar que el presente trabajo no está enfocado en el diseño de las losas TT, sino más bien en un estudio o evaluación de los nudos que forman dichos elementos con los muros estructurales.

Existen dos tipos de apoyos para las diferentes losas TT

2.4.1 HIPOTESIS DE APOYO PARA LOSAS TT DE SECCION CONSTANTE

Las losas TT se consideran simplemente apoyadas, es decir una conexión simple losa-muro, como elemento isostático, generando solo momento positivo en el elemento

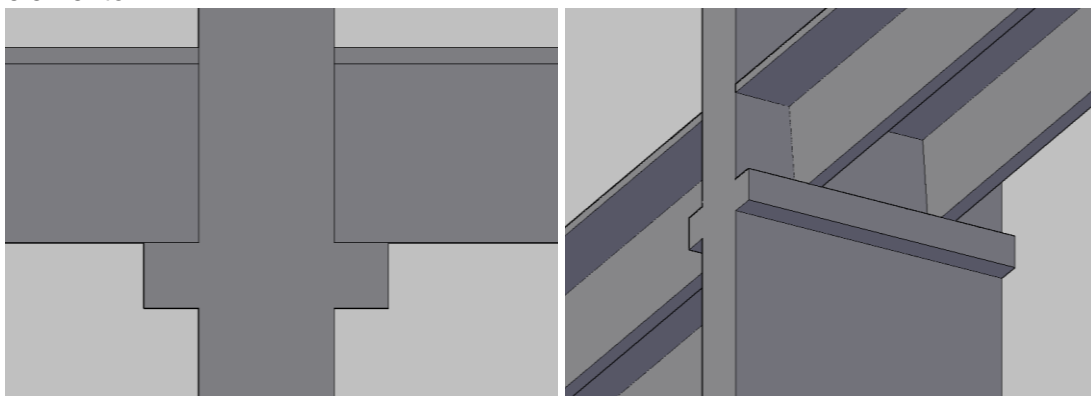
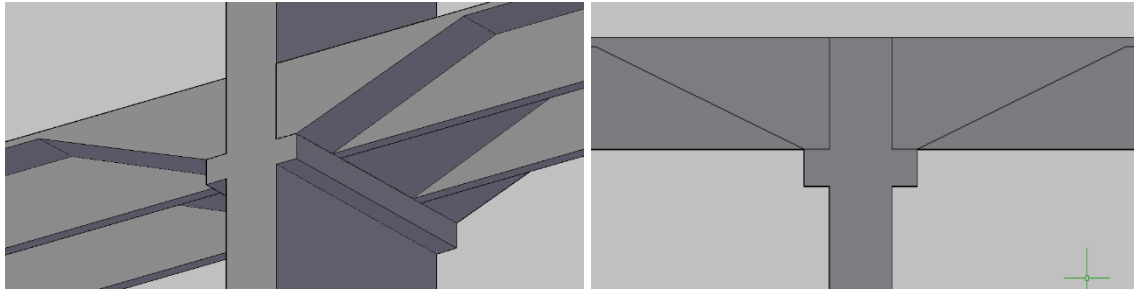


Ilustración 13: Hipótesis de apoyo para losas TT de sección constante

2.4.2 HIPÓTESIS DE APOYO PARA LOSAS TT DE SECCIÓN



VARIABLE

Ilustración 14: Hipótesis de apoyo para losas TT de sección variable.

En este caso las conexiones serán semi-rígidas, formándose en cierto modo una estructura hiperestática, en la cual se crean momentos negativos en los nodos, siendo el foco de estudio de este trabajo, al analizar el refuerzo superior y su comportamiento con respecto a las cargas laterales y gravitatorias.



CAPÍTULO III: ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3.1 GENERALIDADES

Entendemos al análisis estructural al proceso mediante el cual se puede conocer el comportamiento o respuesta de una estructura frente a un determinado estado de cargas o acciones específicas.

Con el fin de conocer el comportamiento de las conexiones, se analizará la estructura a través del software SAP 2000 V17, dónde se modelará las losas TT en sus variantes de sección y longitud, a través de elementos “Frame” y mediante modelización de sólidos por elementos finitos. Con ello se pretende caracterizar el tipo de conexión según sea la sección analizada, ya sea de extremos abiertos o cerrados. En base a los resultados obtenidos se pretende demostrar que las losas TT con extremos cerrados pueden formar nudos rígidos dando continuidad a la estructura.

3.2 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS

El trabajo está enfocado en las conexiones losas TT - muros, por lo que se representa a la estructura formada por estos elementos a través de un pórtico, de modo que la modelación de estas conexiones se acerquen al comportamiento real de la estructura.

Los pórticos constan de dos niveles con luces efectivas de 12, 14, 16 y 18 metros respectivamente y muros continuos de 4 metros de altura por nivel.

La matriz a continuación indica los pórticos con diferentes luces efectivas a analizar, cuatro pórticos con losas TT de sección constante y cuatro con losas TT de sección variable, todos con una altura de entrepiso de 4 metros, cada pórtico está conformado por muros de hormigón de alta resistencia.

Número de Niveles	Luz Efectiva	Losa TT de sección constante	Losa TT de sección Variable
2	12 m	X	x
2	14 m	X	X
2	16 m	X	X
2	18 m	x	X

Tabla 2: Matriz de Pórticos Analizados

3.2.1 PÓRTICO TIPO 1

Para losas TT de sección constante, de 2 niveles con alturas de 4 metros de entrepiso y con luces efectivas (L) de 12, 14, 16 y 18 metros respectivamente.

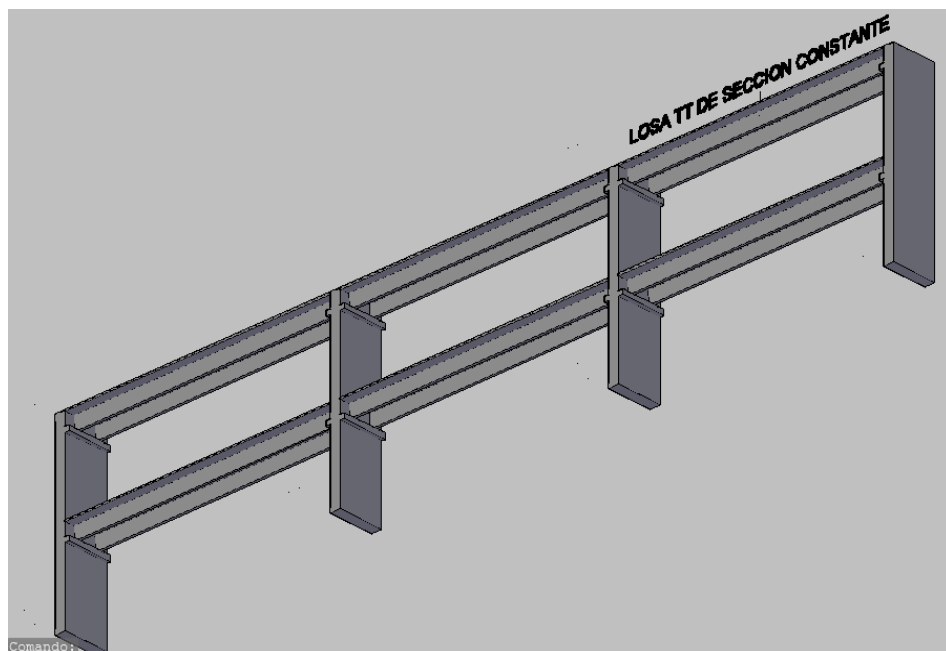
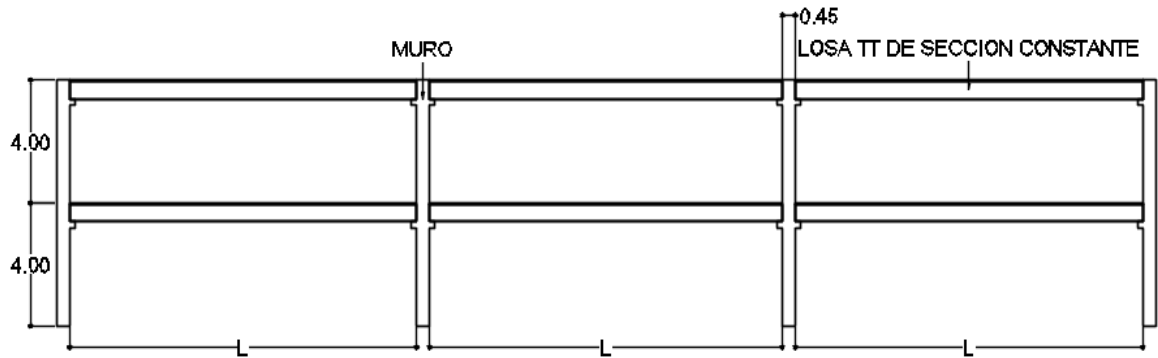


Ilustración 15: Geometría pórtico tipo 1

3.2.1. PÓRTICO TIPO 2

Para losas TT de sección variable, consta de 2 niveles con alturas de 4 metros de entrepiso y con luces efectivas (L) de 12, 14, 16 y 18 metros respectivamente.

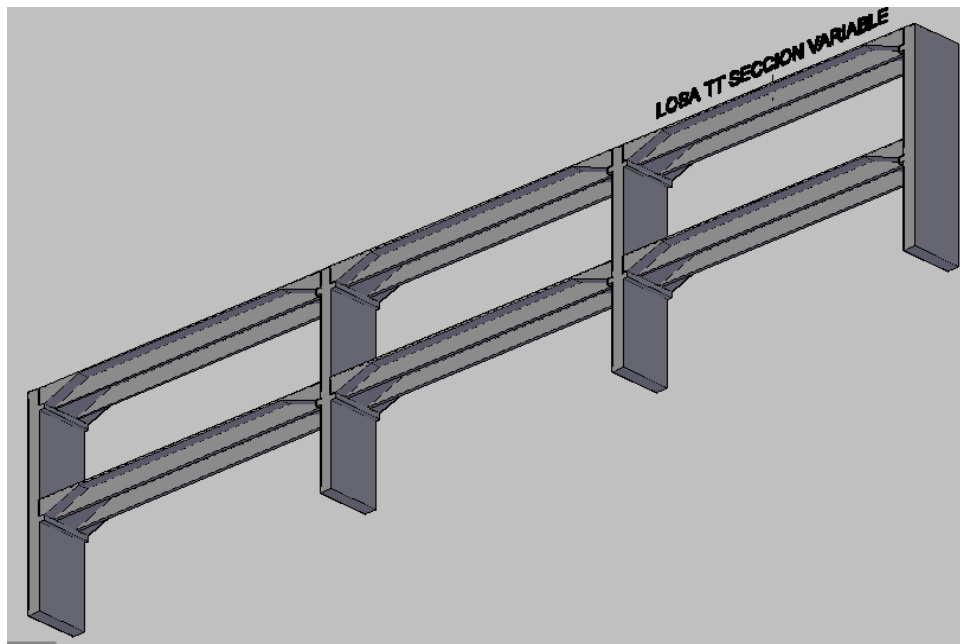
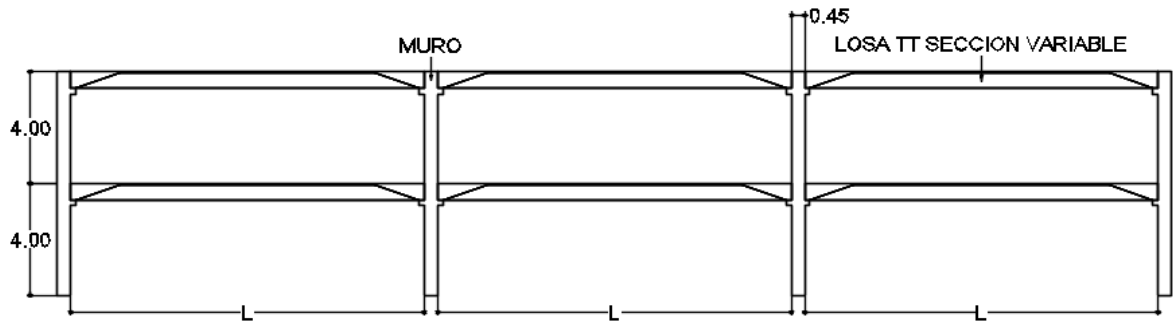


Ilustración 16: Geometría pórtico tipo 2

3.3 ANÁLISIS DE CARGAS

Una de las funciones más importante de un ingeniero estructural, es la determinación de las diferentes cargas que actúan sobre una estructura. Es importante que el diseñador considere todas las cargas que ejercerán fuerzas sobre la estructura en algún momento de su vida útil.

Para el presente estudio se consideraran las cargas muertas, vivas, de viento y cargas sísmicas.

3.3.1 CARGAS MUERTAS

3.3.1.1 DEFINICIÓN

La carga muerta cubre todas las cargas permanentes de construcción incluyendo el peso propio de la estructura, es decir aquellas cargas que actuaran durante toda la vida de la estructura. Estás incluyen todos aquellos elementos de la estructura



como vigas, pisos, techos, columnas, cubiertas y los elementos arquitectónicos como ventanas, acabados, divisiones permanentes.

3.3.1.2 CARGA MUERTA UTILIZADA

Para el análisis estructural se tomará como carga muerta al peso propio de las losas TT en sus variantes de sección y longitud, y a la carga de instalaciones.

Sobre las losas se funde una carpeta de hormigón de 10 cm de espesor con el fin de formar una losa compacta, así mismo la carpeta nos ayuda a controlar la contraflecha o camber que se da en los elementos pretensados, dejando una superficie totalmente horizontal para la instalación del piso.

El peso de la carpeta también se incluye como carga muerta, donde los valores de la carga muerta total para las diferentes luces se resumen en las siguientes tablas:

Nota: se determinó el peso de las losas y la carpeta a través del producto de la densidad del hormigón (2400kg/m³), por sus respectivos volúmenes. Para una mayor exactitud se determinó el volumen de los elementos a través del programa AutoCAD Civil3D.

Los valores de la carga de instalaciones por metro cuadrado se tomó de [16].

LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE				
LUZ (m)				
CARGA (kg)	12	14	16	18
LOSA	7650	8750	10000	11250
CARPETA	5760	6720	7680	8640
INSTALACIONES	1200	1400	1600	1800
TOTAL	14610	16870	19280	21690

Tabla 3: Carga muerta para losas TT de sección constante para luces de 12, 14, 16, y 18m

LOSAS TT DE SECCIÓN VARIABLE				
LUZ (m)				
CARGA (kg)	12	14	16	18
LOSA	11633,8	12883,8	14133,8	15383,8
CARPETA	5760	6720	7680	8640
INSTALACIONES	1200	1400	1600	1800
TOTAL	18593,8	21003,8	23413,8	25823,8

Tabla 4: Carga muerta para losas TT de sección variable para luces de 12, 14, 16, y 18m

3.3.2 CARGAS VIVAS

3.3.2.1 DEFINICIÓN

Las cargas vivas o sobrecargas de uso, son aquellas debidas al uso u ocupación de la construcción y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras. Generalmente actúan durante períodos cortos de la vida de la estructura. Debido a la dificultad de



evaluarlas, se especifican por los Códigos de Construcción. Usualmente se considera que ocupan toda el área del piso como cargas uniformes, aunque en algunos casos puedan estar concentradas en un área específica.

Algunos valores mínimos para carga viva a considerar son:

OCUPACIÓN O USO	CARGA (kN/m ²)
Almacenes (venta al por mayor)	6
Áreas de almacenamiento sobre techos	1
Balcones	4,8
Bibliotecas (salas de lectura)	2,9
Bodegas de almacenamiento (carga pesada)	12
Comedores y Restaurantes	4,8
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	1
Oficinas	2,4
Gimnasios	4,8
Hospitales (quirófanos y laboratorios)	2,9
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2
Hoteles (habitaciones)	2
Salas de baile	4,8
Unidades Educativas (aulas)	2

Tabla 5: Carga viva mínima uniformemente distribuida. Tomado de [16].

3.3.2.2 CARGA VIVA UTILIZADA

Como se pudo observar en la tabla 5 los valores para carga viva varían de acuerdo a la ocupación de la edificación.

Para el presente estudio se ha optado por utilizar una carga viva representativa de 500 kg/m^2 ($4,9 \text{ kN/m}^2$). Se puede notar que esta carga es mayor que las cargas dadas por [16].

3.3.3 CARGA SÍSMICA

3.3.3.1 DEFINICIÓN

Este tipo de carga es producida por las aceleraciones que se producen durante un evento sísmico. Suceden eventualmente durante la vida útil de una estructura, no es constante, se presenta solo en lapsos breves y puede alcanzar grandes magnitudes.

3.3.3.2 SISMO DE DISEÑO

Para la carga sísmica se ejecutara los lineamientos de la “NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11”, en la cual se definirán los parámetros y



solicitaciones de acuerdo a la ubicación del trabajo. El sismo de diseño es aquel que tiene una probabilidad del 10% de excederse en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años, determinado ya sea a partir de un análisis de la peligrosidad del sitio de emplazamiento de la estructura, o a partir de un mapa de peligrosidad sísmica, como el que se proporciona en la NEC-11.

3.3.3.3 ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y FACTOR DE ZONA.

La NEC-11 detalla seis zonas sísmicas, como indica la figura 3.3.4:

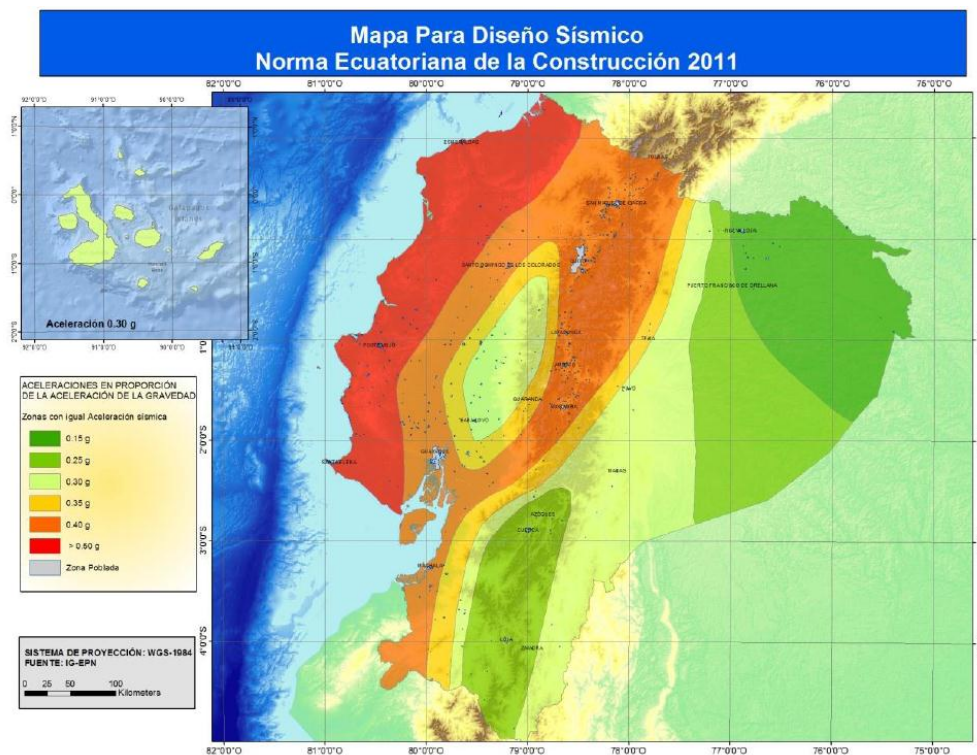


Ilustración 17: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor Z[17]

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	Alta

Tabla 6: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

La ubicación del trabajo se asienta en la ciudad de Cuenca, la misma que se encuentra en una zona sísmica II con un factor de zona Z= 0.25. Este factor de zona Z constituye la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.



3.3.3.4 GEOLOGÍA LOCAL, PERFILES DE SUELO Y COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Clasificación de los perfiles del suelo

La siguiente tabla muestra los seis tipos de perfil de suelo:[17]

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
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 debidamente 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 de 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 7: Clasificación de los perfiles de suelo[17]



Coefficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

- F_a , Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto:** En esta tabla se presentan los valores del coeficiente F_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥ 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	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Ver nota					

Tabla 8: Tipo de Suelo y Factores de sitio F_a [17]

- F_d , desplazamientos para diseño en roca:** En esta tabla se presentan los valores del coeficiente F_d que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca, considerando los efectos de sitio:

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Ver nota					

Tabla 9: Tipo de suelo y Factores de sitio F_d [17]

- F_s , Comportamiento no lineal de los suelos:** En esta tabla se presentan los valores del coeficiente F_s , que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥ 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	1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Ver nota					

Tabla 10: Tipo de Suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s [17]



3.3.3.5 ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO EN ACCELERACIONES

El espectro de respuesta elástica de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad S_a , para el nivel de sismo de diseño, se proporciona en la figura 3.3. Dicho espectro, obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 0.05, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para periodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 rangos:

$$S_a = \eta Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r \text{ para } T > T_c$$

Los valores de la relación de amplificación espectral, η (S_a/Z , en roca), que varían según la región del Ecuador, adoptan los siguientes valores:

$\eta=1.8$ (Provincias de la costa, excepto Esmeraldas), 2.48 (Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos), 2.60 (Provincias del Oriente).

Para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de S_a , debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de periodo de vibración menores a T_0 :

$$S_a = Z F_a \left[1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right] \text{ para } T \leq T_0$$

$$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

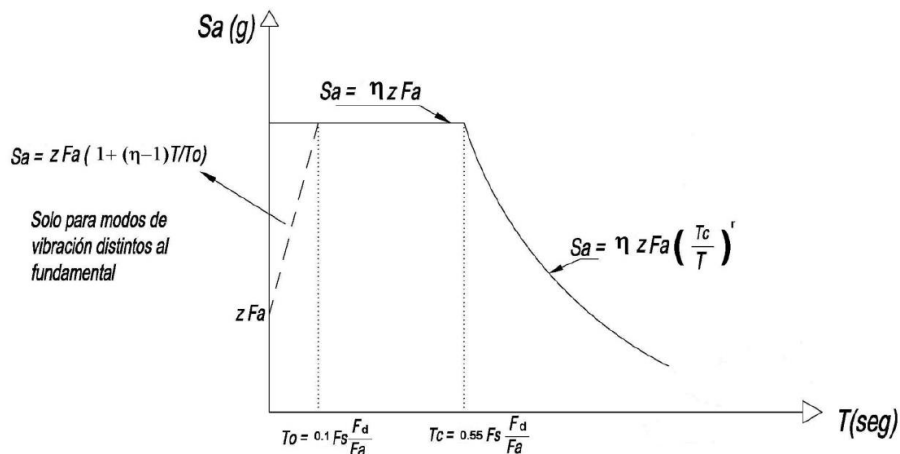


Ilustración 18: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.[17]

3.3.3.6 CONTROL DE DERIVA DE PISO

El diseñador deberá comprobar que su estructura presentara deformaciones inelásticas, mejorando sustancialmente el diseño conceptual. Por lo tanto, los límites a las derivas de entrepiso inelásticas máximas, Δ_m , se presentan en la siguiente tabla, las cuales deben satisfacer en todas las columnas del edificio.



Tipo de estructura	Δm máxima
Hormigón Armado, estructuras metálicas y de madera	0.020
De mampostería	0.010

Tabla 11: Valores de Δm máximos expresados como fracción de la altura de piso[17]

3.3.3.7 TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA. (COEFICIENTE I)

La estructura a construirse se clasificara en una de las categorías que se establecen en la siguiente tabla, y se adoptara el correspondiente factor de importancia I.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente 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 substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias 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 12: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura[17]

3.3.3.8 DETERMINACIÓN DE LAS FUERZAS LATERALES DE DISEÑO MÍNIMAS Y EFECTOS RELACIONADOS

Requisitos Generales:

Las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección horizontal. Debe asumirse que las fuerzas sísmicas de diseño actúan de manera no concurrente en la dirección de cada eje principal de la estructura.[17]



3.3.3.9 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS

Cortante Basal de Diseño:

El cortante basal de diseño V , a nivel de cargas ultimas, que será aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinara mediante las expresiones:

$$V = \frac{IS_a}{R\Phi_P\Phi_E}W$$

Donde:

I : Factor de importancia, Ver Tabla 3.3.10

W = Carga Reactiva

S_a = aceleración espectral correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño, definida en 3.2.4.4

R = Factor de reducción de respuesta espectral

Φ_P, Φ_E = Factores de configuración estructural en planta y elevación.

Periodo de Vibración T

Método 1:

Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Donde:

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

- Para estructuras de acero sin arriostramientos, $C_t = 0.072$ y $\alpha = 0.80$
- Para estructuras de acero con arriostramientos, $C_t = 0.073$ y $\alpha = 0.75$
- Para pórticos espaciales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras, $C_t = 0.047$ y $\alpha = 0.9$
- Para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural, $C_t = 0.049$ y $\alpha = 0.75$

Método 2:

El periodo fundamental T puede ser calculado, utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, este requisito puede ser cumplido mediante la utilización de la siguiente expresión, en nuestro caso se aplicara en una sola dirección (más desfavorable).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}}$$

Donde:



f_i = Representa cualquier distribución aproximada de las fuerzas laterales en el piso i , de acuerdo con los principios descritos más adelante, o cualquiera otra distribución racional.

δ_i = deflexión elástica del piso i , calculada utilizando las fuerzas laterales f_i .

Sin embargo, el valor de T calculado según el método 2 o por cualquier otro método no debe ser mayor en un 30% al valor de T calculado con el **Método 1** para fines de resistencia.[17]

Factor de reducción de resistencia sísmica R

La Norma NEC-11 requiere que el diseñador seleccione el sistema estructural a utilizarse para la edificación.

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales Dúctiles	
Sistemas Duales	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras, sean de hormigón o acero laminado en caliente.	7
Pórticos de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado	7
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	7
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	6
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	6
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	6
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	6
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado	5
Pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5
Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en el capítulo 4, limitados a 2 pisos	3
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos	3
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos	3

Tabla 13: Coeficiente de reducción de respuesta estructural R[17]

Distribución vertical de fuerzas laterales

Las fuerzas laterales totales de cálculo deben ser distribuidas en la altura de la estructura, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$V = \sum_{i=1}^n F_i; V_x = \sum_{i=x}^n F_i; F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V$$

Donde:

V = cortante total en la base de la estructura

V_x = cortante total en el piso x de la estructura

F_i = fuerza lateral aplicada en el piso i de la estructura

F_x = fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura



n = número de pisos de la estructura

W_x = peso aginado al piso o nivel x de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente)

W_i = peso aginado al piso o nivel i de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente)

h_x = altura del piso x de la estructura

h_i = altura del piso i de la estructura

k = coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T , que se evalúa de la siguiente manera:

- Para valores de $T \leq 0.5s$, $k=1.0$

- Para valores de $0.5s < T \leq 2.5s$, $k = 0.75 + 0.50 T$

- Para valores de $T > 2.5$, $k = 2.0$ [17]

Distribución horizontal del cortante

El cortante de piso V_x debe distribuirse entre los diferentes elementos del sistema resistente a cargas laterales en proporción a sus rigideces considerando la rigidez del piso.

La masa de cada nivel debe considerarse como concentrada en el centro de masas del piso, pero desplazada una distancia igual a 5 por ciento de la máxima dimensión del edificio en ese piso, perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas laterales bajo consideración.

El efecto de este desplazamiento debe incluirse en la distribución del cortante de piso y en los momentos torsionales.[17]

3.3.3.10 DIRECCIÓN DE APLICACIÓN DE LAS FUERZAS

Para la selección de la dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas, deben considerarse los efectos ortogonales, suponiendo la concurrencia simultánea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular.[17]

3.3.3.11 RESUMEN DE DATOS Y FACTORES CORRESPONDIENTES A LA ESTRUCTURA DE ESTUDIO

3.3.3.11.1 FACTORES PARA SISMO SEGÚN UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Estos datos son obtenidos de acuerdo a las características y propiedades de la estructura a analizarse, según la NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN PARA CARGAS SISMICAS, NEC-SE-DS-11.



CATEGORÍA	SÍMBOLO	VALOR
Factor de Zona	z	0.4
Periodo de Vibración	T	0.23
Coeficiente según el tipo de edificio	Ct	0.049
	α	0.75
Altura máxima del edificio de n pisos	hn	8
Tipo de suelo	Fa	1
	Fd	1
	Fs	0.75
Coeficiente de Importancia	I	1.5
Periodo límite de Vibración	Tc=	0.4125
	To=	0.075
Espectro de respuesta elástico de aceleraciones	Sa	0.992
Razón entre la aceleración espectral Sa y el PGA	η	2.48
Factor de reducción	R	5
Coeficiente de Regularidad en Planta	ϕ_p	1
Coeficiente de Regularidad en elevación	ϕ_e	1

Tabla 14: Resumen de Datos y Factores de Sismo para la Ubicación del Proyecto

3.3.3.11.2 CARGAS LATERALES PARA PÓRTICOS CONFORMADOS POR LOSAS DOBLE TT DE SECCIÓN CONSTANTE Y MUROS CONTINUOS.

Estos valores son calculados a partir de la tabla 14 en base a la NEC-SD-DS 11 y a las características de cada pórtico.

PÓRTICOS CON LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE		L=12 metros	L=14 metros	L=16 metros	L=18 metros
CATEGORÍA	SÍMBOLO	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Carga Reactiva(Tn)	W	105.66	122.22	139.68	157.14
Cortante Basal de Diseño(Tn)	V	31.44	36.37	41.57	46.76
AREA NIVEL 1(m2)	A1	72.00	84.00	96.00	108.00
AREA NIVEL 2(m2)	A2	72.00	84.00	96.00	108.00
Carga reactiva Nivel 1(kg)	W1	52830.00	61110.00	69840.00	78570.00
Carga reactiva Nivel 2(kg)	W2	52830.00	61110.00	69840.00	78570.00
Altura Nivel 1(m)	h1	4.00	4.00	4.00	4.00
Altura Nivel 2(m)	h2	8.00	8.00	8.00	8.00
Fuerza Lateral Nivel 1(kg)	S1	10482.00	12126.00	13858.00	15590.00
Fuerza Lateral Nivel 2(kg)	S2	31446.00	36374.00	41570.00	46766.00

Tabla 15: Cargas para pórticos conformados por losas doble TT de sección constante de luces con 12, 14, 16 y 18 metros

Las fuerzas laterales (De Sismo), S_1 y S_2 se aplicaran a cada pórtico en el modelamiento con SAP 2000, de acuerdo al pórtico que corresponde.

3.3.3.11.3 CARGAS LATERALES PARA PÓRTICOS CONFORMADOS POR LOSAS DOBLE TT DE SECCIÓN VARIABLE Y MUROS CONTINUOS



Estos valores son calculados a partir de la tabla 14 en base a la NEC-SD-DS 11 y a las características de cada pórtico.

PÓRTICOS CON LOSAS TT DE SECCIÓN VARIABLE		L=12 metros	L=14 metros	L=16 metros	L=18 metros
CATEGORÍA	SÍMBOLO	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Carga Reactiva(Tn)	W	129.56	147.02	164.48	181.94
Cortante Basal de Diseño(Tn)	V	38.56	43.75	48.95	54.15
AREA NIVEL 1(m2)	A1	72.00	84.00	96.00	108.00
AREA NIVEL 2(m2)	A2	72.00	84.00	96.00	108.00
Carga reactiva Nivel 1(kg)	W1	64781.28	73511.28	82241.52	90971.28
Carga reactiva Nivel 2(kg)	W2	64781.28	73511.28	82241.52	90971.28
Altura Nivel 1(m)	h1	4.00	4.00	4.00	4.00
Altura Nivel 2(m)	h2	8.00	8.00	8.00	8.00
Fuerza Lateral Nivel 1(kg)	S1	12854.00	14586.00	16318.00	18050.00
Fuerza Lateral Nivel 2(kg)	S2	38558.00	43754.00	48952.00	54148.00

Tabla 16: Cargas para pórticos conformados por losas doble TT de sección variable de luces con 12, 14, 16 y 18 metros

Las fuerzas laterales (De Sismo), S_1 y S_2 se aplicaran a cada pórtico en el modelamiento con SAP 2000, de acuerdo al pórtico que corresponde.

3.3.4 CARGAS DE VIENTO

3.3.4.1 DEFINICIÓN

El Viento es una Carga dinámica que varía en el tiempo con una determinada dirección e intensidad. Es una masa de aire en movimiento que produce presión o succión sobre las superficies expuestas de las edificaciones.

La carga ejercida por el viento sobre la estructura depende de algunos factores como:

- Altura de la edificación.
- Velocidad del viento.
- Dirección del viento (ángulo de incidencia).
- Forma y rigidez de la estructura.
- Condiciones de la superficie del terreno (presencia de obstáculos).

3.3.4.2 CARGA DE VIENTO UTILIZADA

Según [16], la velocidad de diseño para la carga de viento de hasta 10 m de altura, (8m para nuestro caso de estudio) , será la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación, pero no será menor a 75 Km/h, por lo que este valor será utilizado para el presente estudio.

Dicho valor, será corregido aplicando el factor de corrección, indicado en la Tabla 17, que considera la altura del edificio y las características topográficas y/o de edificación del entorno, mediante la ecuación:

$$V_h = V \cdot \sigma$$



Siendo:

V_h = la velocidad corregida del viento en Km/h.

V = la velocidad instantánea máxima del viento en Km/h, registrada a 10 m de altura sobre el terreno.

σ = el coeficiente de corrección

Coeficiente de corrección, σ

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

Nota: Categoría A: Edificios frente al mar, zonas rurales o espacios abiertos sin obstáculos topográficos.
 Categoría B: Edificios en zonas suburbanas con edificación de baja altura, promedio hasta 10m.
 Categoría C: Zonas urbanas con edificios de altura.

Tabla 17: Valores de coeficiente de corrección σ . Tomado de [16].

Para la determinación de la presión del viento se hará uso de la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot c_e \cdot c_f$$

Donde:

P = presión de cálculo expresada en N/m²

ρ = densidad del aire = 1.25 kg/m³

v_b = velocidad básica del viento = 21 m/s (75 km/h)

c_e = coeficiente de entorno/altura

c_f = coeficiente de forma = 1.3 para edificaciones aisladas

El coeficiente de entorno/altura c_e , es un factor de corrección que tiene en cuenta el grado de exposición al viento del elemento considerado y se puede determinar a partir de lo estipulado en Capítulo 8 de la norma NEC-11 [16].

Para el coeficiente de entorno c_e se asume un valor de 2.3 para una edificación de alrededor de 9m de altura en un terreno llano o accidentado con algunos obstáculos aislados como árboles o construcciones pequeñas.

El coeficiente de forma c_f , es un factor de corrección que tiene en cuenta la situación del elemento dentro de la fachada. Se toma el valor de 0.8 para superficies verticales de edificios.



Aplicando la ecuación 3.3 con los parametros descritos, se tiene una presión de diseño de 507 N/m², lo que equivale a 52 kg/m²

3.3.5 COMBINACIONES DE CARGA POR EL MÉTODO LRFD

El método LRFD por sus siglas en inglés (“LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN”) o Diseño por factores de Carga y Resistencia, requiere que se incrementen las cargas de servicio por medio de los factores de carga especificados (resistencia requerida) y que las resistencias nominales calculadas se reduzcan por medio de los factores ϕ de reducción de resistencia (resistencia de diseño [18]).

Con los factores de mayoración de la cargas se trata de compensar de cierta manera la incertidumbre que surge por la variación de las cargas. Es por esto que el coeficiente de mayoración de la carga viva es mayor que el resto, por la difícil cuantificación de este tipo de carga.

El factor de reducción ϕ trata de compensar las posibles diferencias que se dan entre los valores de diseño y las variaciones que se dan en la construcción. Este coeficiente varía de acuerdo al efecto que se diseña: compresión, flexión, cortante, torsión, etc.

Para efectos de estudio se desprecia el efecto de la carga de viento debido a que su efecto es insignificante comparado al de la carga sísmica, por lo tanto se toma las siguientes combinaciones de carga:

1. 1.2D + 1.6L
2. 1.1 (D+0.25 L) + E

Dónde:

- D = carga muerta
- L = carga viva
- E = carga de sismo

3.4 MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA SU ANÁLISIS POR MEDIO DEL SOFTWARE SAP2000

3.4.1 MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA POR MEDIO DE ELEMENTOS “FRAME”.

Haciendo un recuento sobre el programa **SAP2000**, este software a más de realizar otras utilidades en el campo estructural, determina a través de elementos finitos la respuesta en términos de fuerza, esfuerzos y deformadas en los elementos de área y sólidos, presentando un salida gráfica y por tablas, haciendo la herramienta predilecta para ingenieros



estructurales, dedicados a la investigación, desarrollo de proyectos y construcción.[19]

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para realizar el modelamiento de los pórticos establecidos anteriormente, cabe recordar que son ocho pórticos, en todos estos se sigue el mismo procedimiento:

1. Definimos la estructura completa a modelar por medio de AutoCAD Civil3D.

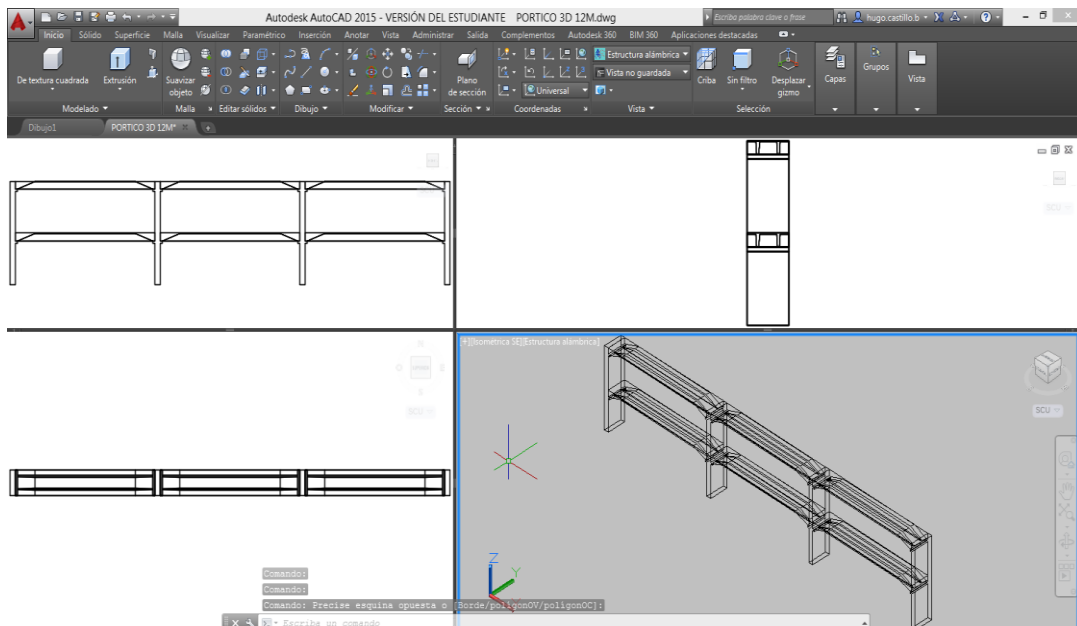


Ilustración 19: Vistas estructura modelada en AutoCAD Civil3D

2. Una vez definida la geometría modelamos la estructura en **Sap2000** con el siguiente orden:
 - a. Abrimos el programa, y seleccionamos un nuevo modelo en “2D Frames”

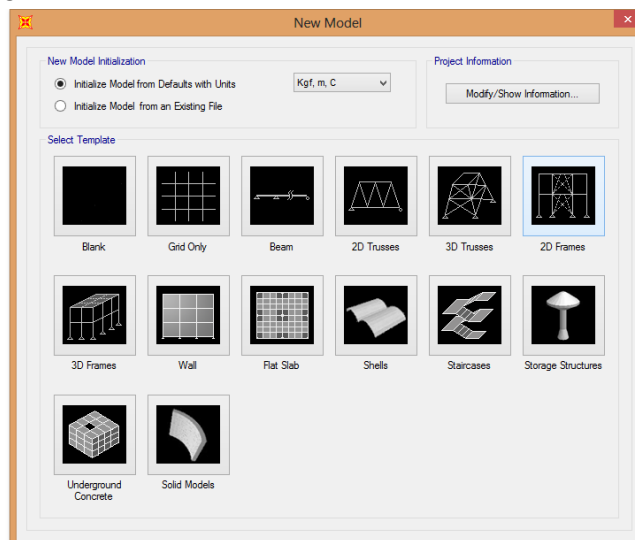


Ilustración 20: Interfaz Gráfica de SAP2000



- b. De acuerdo a la geometría definimos el número de pisos, altura, número de barras y longitud de las barras.

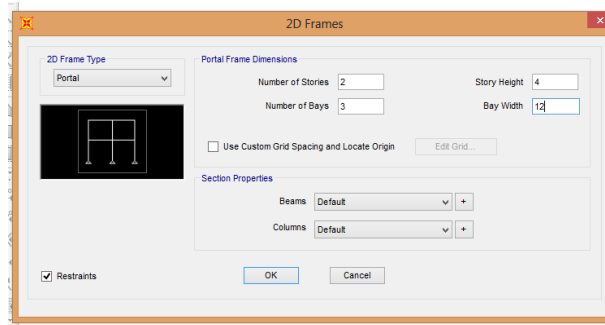


Ilustración 21: Interfaz gráfica para elementos 2D Frames en SAP2000

- c. El programa nos muestra el pórtico generado, en una interfaz de dos ventanas en diferentes planos, XZ y 3D.

Seguidamente asignamos un empotramiento a las bases, seleccionando los nodos (que representan las bases), y con el comando *Assign-Joint-Restraints*.

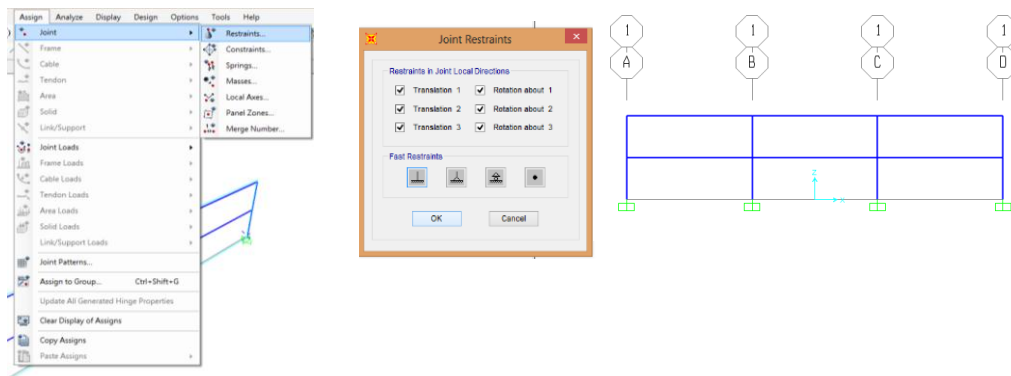


Ilustración 22: Interfaz gráfica de la pestaña "Assign" en SAP2000

- d. En el comando *Define*, establecemos el material: Hierro y Hormigón.
 Hormigón: $f_c' = 350 \text{ Kg/cm}^2$

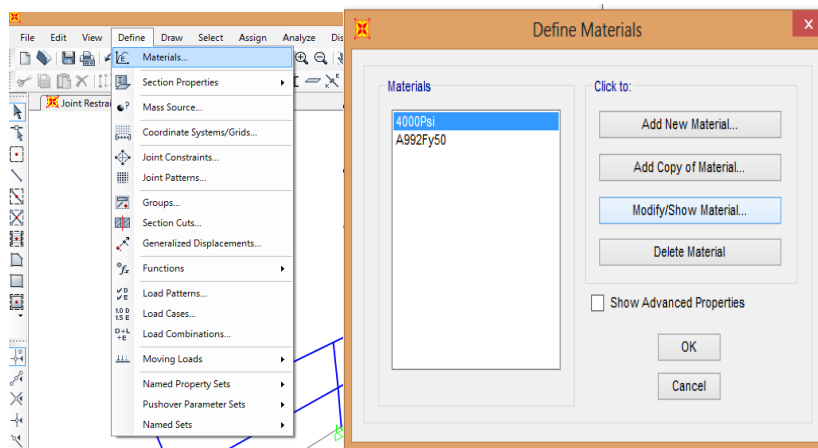


Ilustración 23: Interfaz gráfica de la pestaña "Define" en SAP2000



- e. Dando un clic en la pestaña *Modify/Show Material* establecemos las características del tipo de material, de la siguiente manera:

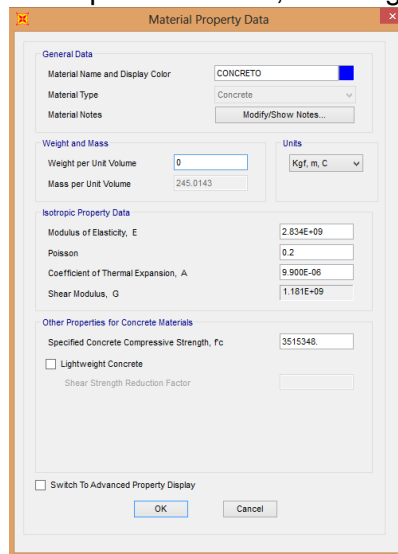


Ilustración 24: Interfaz gráfica de la pestaña “Assign-Materials” en SAP2000

Presionando **ok**, queda establecido nuestro material.

- d. De la misma manera, con el comando *Define*, establecemos las secciones de viga(Losa TT) y columna(muro).

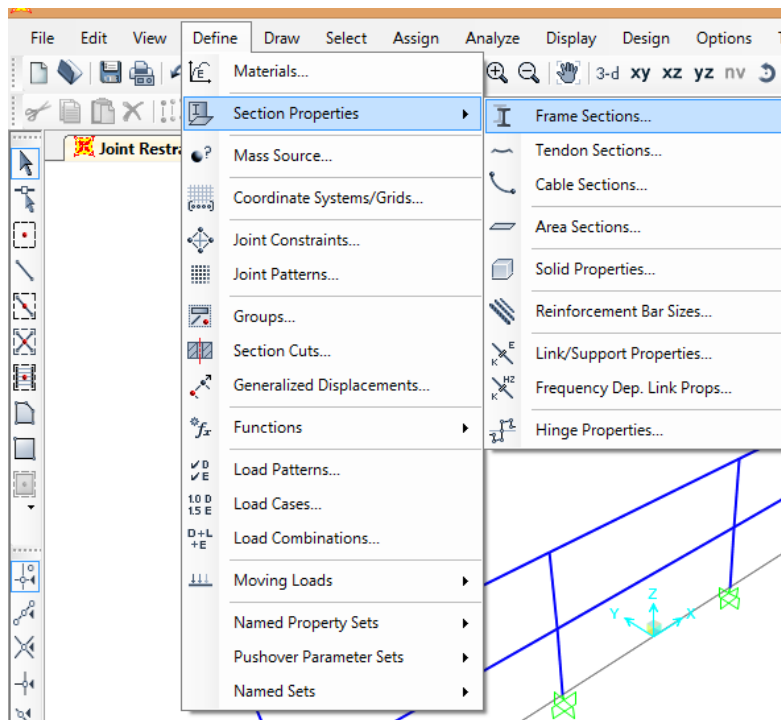


Ilustración 25: Interfaz gráfica de la pestaña “Define- Section Properties- Frame Sections” en SAP2000

Nos muestra la siguiente ventana, en la cual seleccionando Add New Property, definimos nuestras respectivas secciones

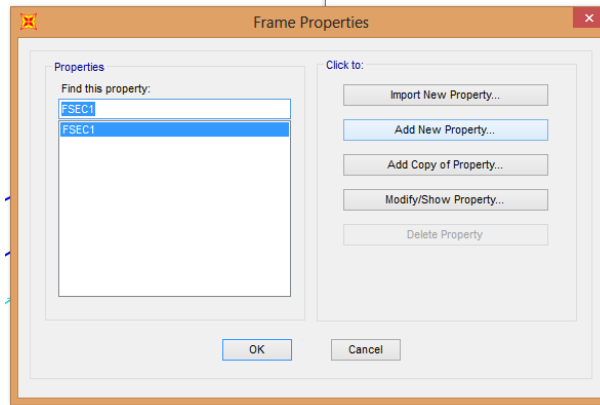


Ilustración 26: Interfaz gráfica de la pestaña “Frame Properties” en SAP2000

Para el muro:

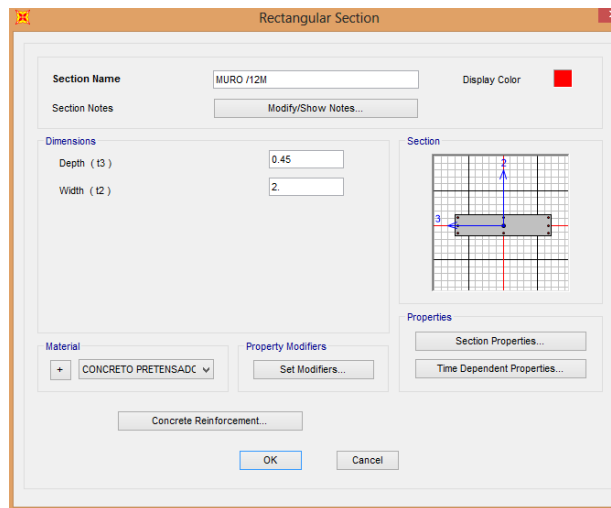


Ilustración 27: Interfaz gráfica de la pestaña “Rectangular Section” en SAP2000

Para la losa TT, utilizamos la herramienta: *Section Designer*

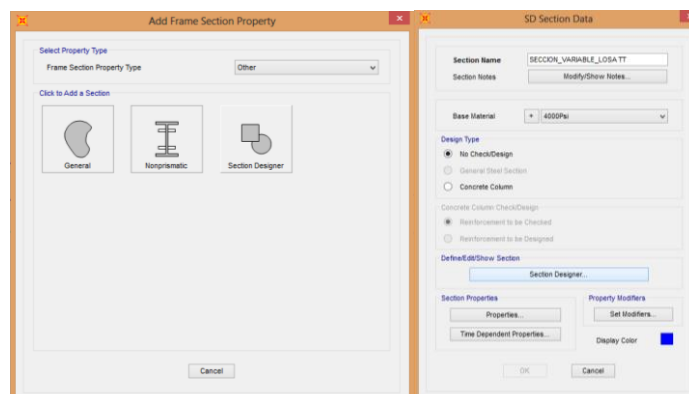


Ilustración 28: Interfaz gráfica de la pestaña “Section Designer” en SAP2000

Siguiendo las geometrías definidas anteriormente, dibujamos y asignamos nuestra Losa TT, de manera que el modelamiento sea lo mas real posible.



Nota: al existir dificultad en el modelamiento del macizado a través de elementos Frame, se dividió el extremo rígido (cabeza) en 5 secciones con el fin de que su geometría se aproxime lo más posible a la realidad. Se debe verificar que el centro medio de todas las secciones esté en el punto de inserción.

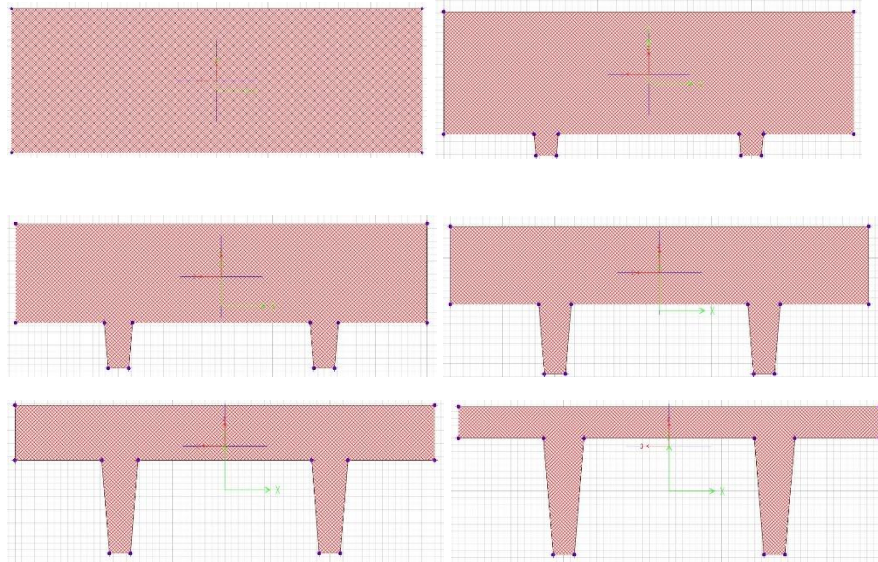


Ilustración 29: Interfaz gráfica de la pestaña “Section Designer” en SAP2000

- e. Teniendo definida nuestras secciones de viga y columna, seleccionamos el frame que corresponda y asignamos las secciones respectivamente.

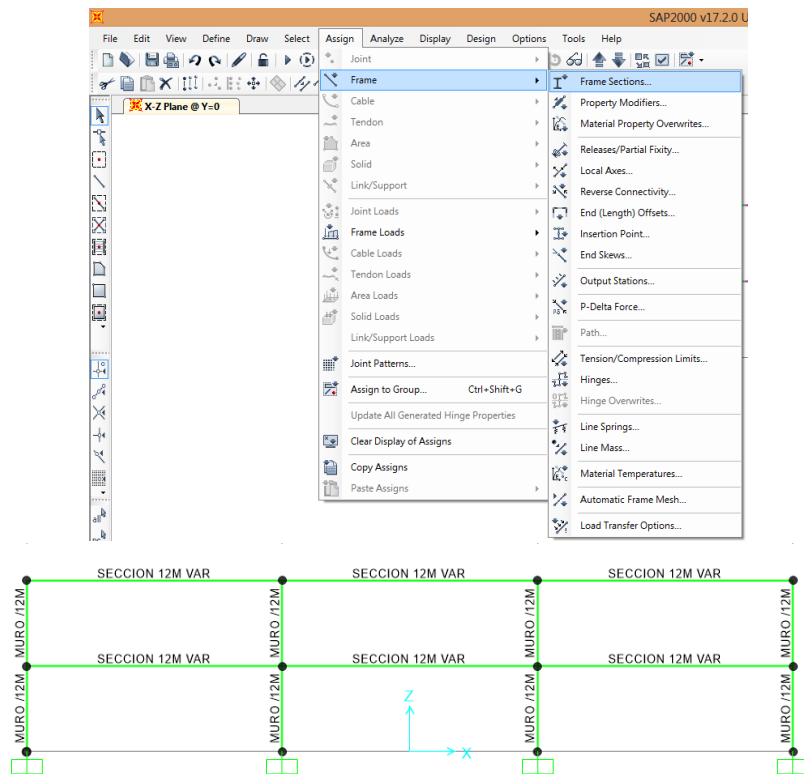


Ilustración 30: Interfaz gráfica de secciones asignadas en SAP2000

Se puede apreciar mejor extruyendo la estructura, como se muestra a continuación:

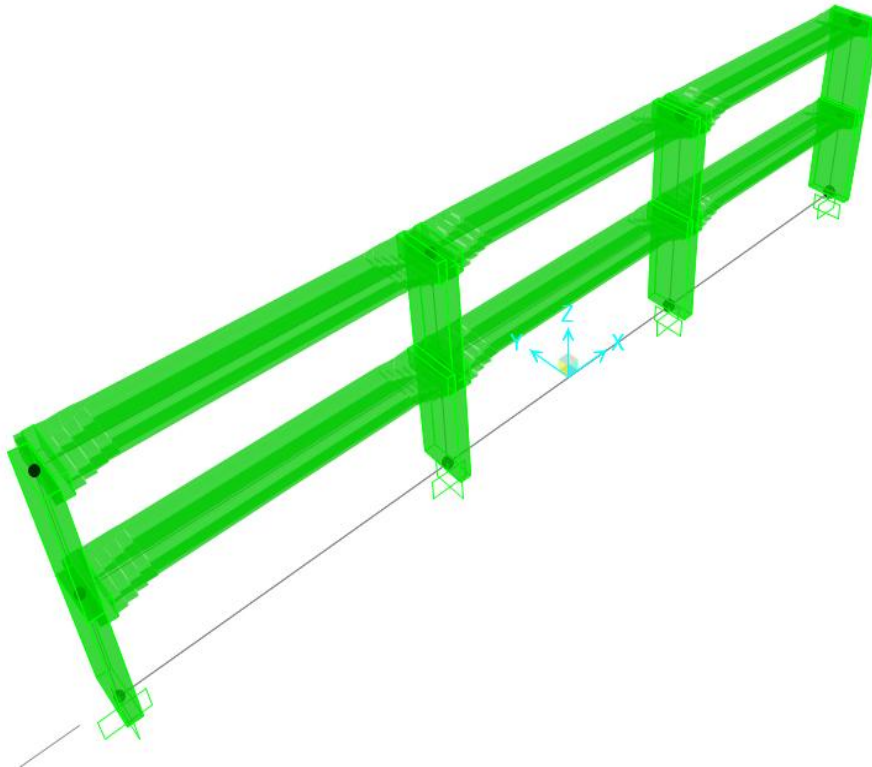


Ilustración 31: Interfaz gráfica de la estructura modelada en SAP2000

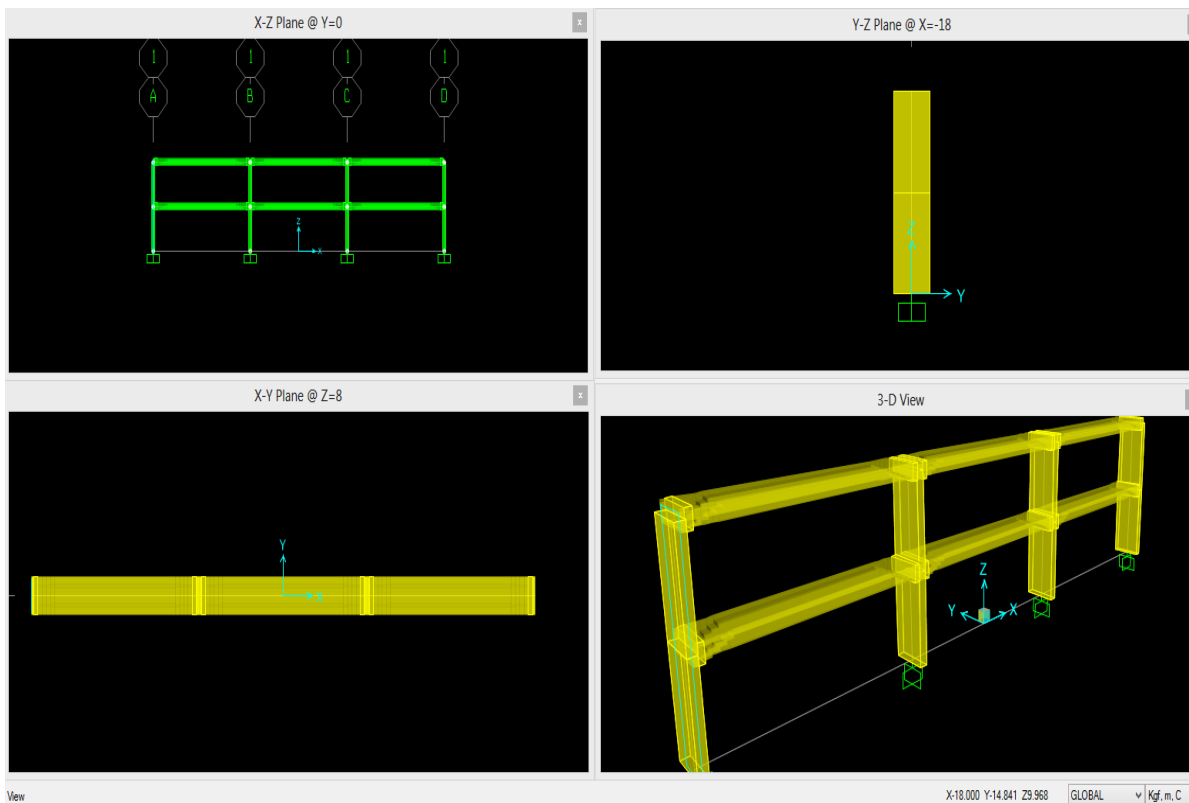


Ilustración 32: Interfaz gráfica de la estructura modelada con diferentes vistas en SAP2000



- f. Establecemos los tipos de cargas a la cual esta sometida la estructura y sus combinaciones:

CARGAS PARA SAP 2000 CON LOSAS TT DE SECCION VARIABLE , CON LUCES DE 12 metros			
TIPO DE CARGA	VALOR	UNIDAD	Observacion
PESO PROPIO, (D)	1449	kg/m	Por frame
INSTALACIONES, (D)	100	kg/m	Por frame
CARGA VIVA, (L)	1000	kg/m	Por frame
SISMOX+ 1er Nivel, E	3214.00	kg	Por Nodo
SISMOX+ 2do Nivel, E	9640.00	kg	Por Nodo
VIENTOX+Barlovento, W	104	kg/m	Se desprecia por ser insignificante al peso de la estructura.
VIENTOX+Sotavento, W	104	kg/m	
COMBINACIÓN DE CARGA			
Combinacion 1:	1.2D+1.6L		En toda la estructura
Combinacion 2:	1.1(D+0.25L)+E		

Tabla 18: Cargas asignadas al pórtico tipo

Cabe recalcar que las cargas varían para cada portico(estructura), por lo que estas cargas se toman como ejemplo solo para una estructura.

- g. Asignamos las cargas correspondientes a elementos frame y nodos respectivamente.

- **CARGA MUERTA(D):**

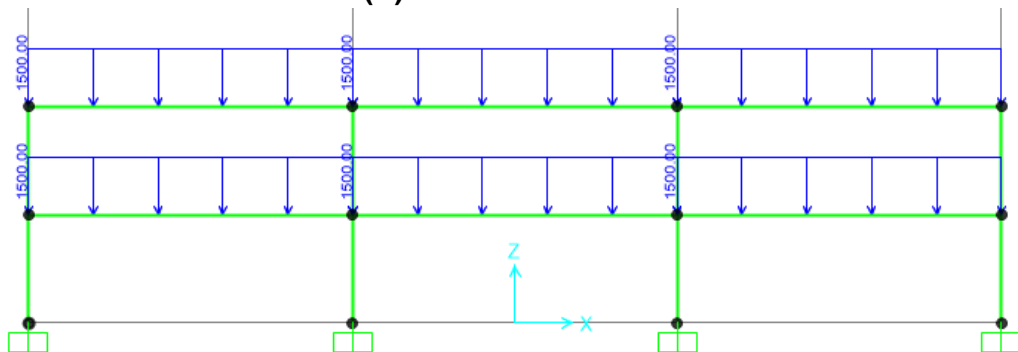


Ilustración 33: Diagrama de cargas "Muertas" asignadas a la Estructura

- **CARGA VIVA(L):**

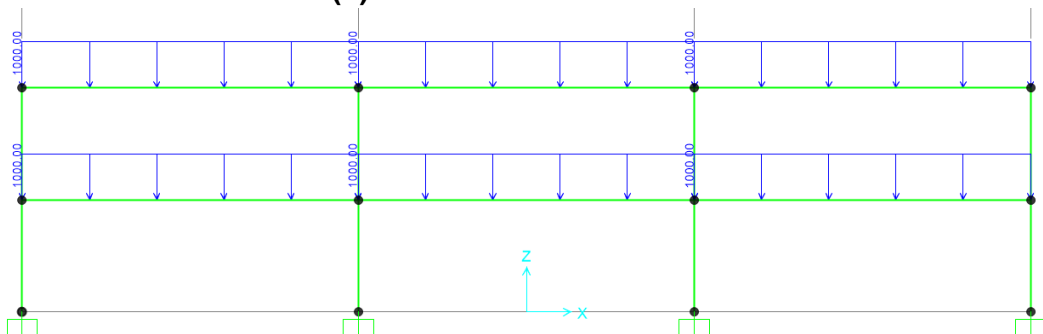


Ilustración 34: Diagrama de cargas "Vivas" asignadas a la Estructura

- **CARGA DE SISMO(E):**

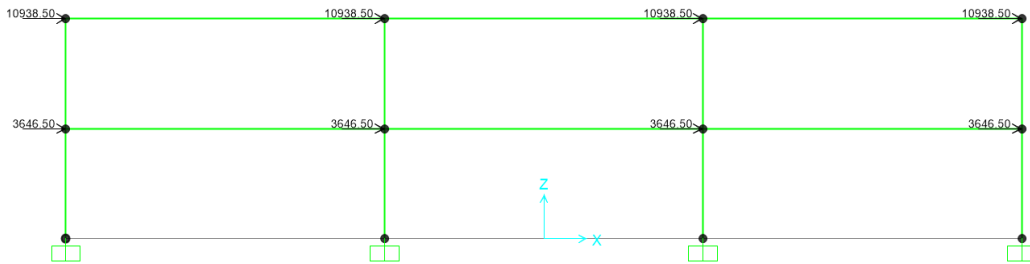


Ilustración 35: Diagrama de cargas de "Sismo" asignadas a la Estructura

h. Hacemos correr el programa de manera que nos de los resultados, como son:

- **Cortantes:**

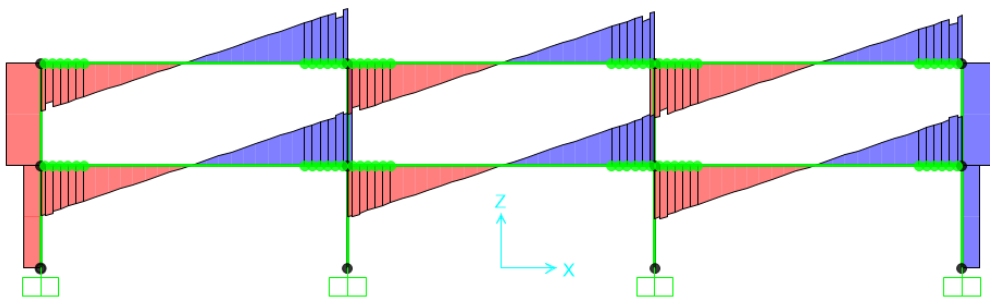


Ilustración 36: Diagrama de Cortante para la combinación de carga: 1.2D+1.6L

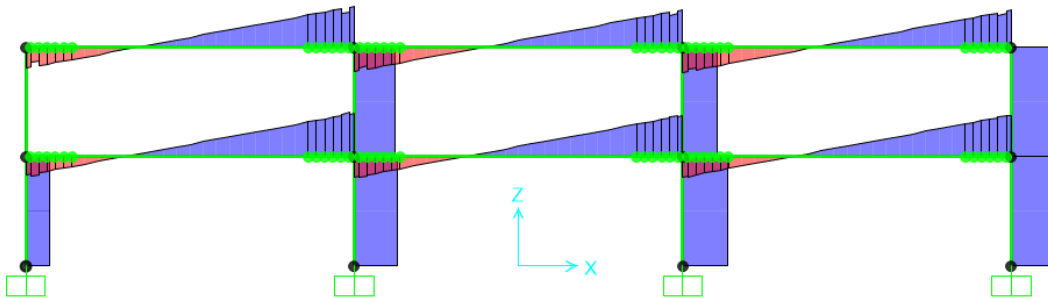


Ilustración 37: Diagrama de Cortante para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E

- **Fuerzas axiales:**

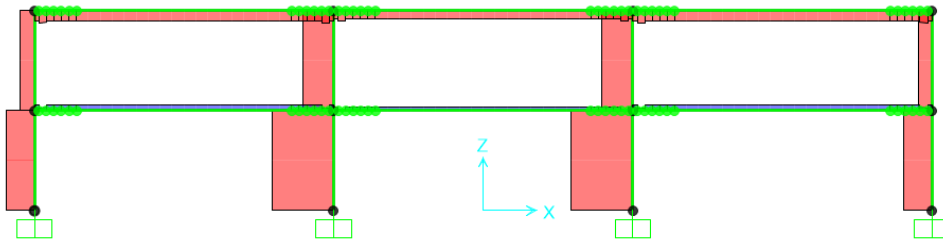


Ilustración 38: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga: 1.2D+1.6L

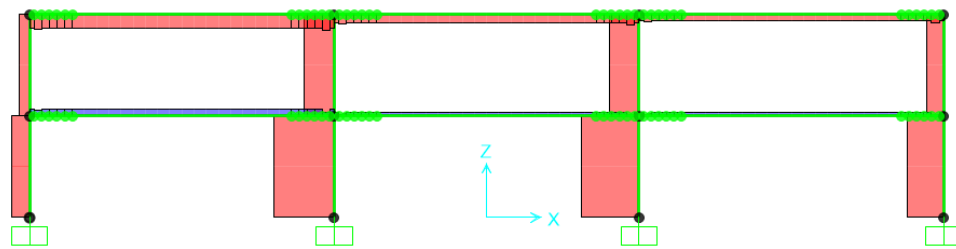


Ilustración 39: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E

- Reacciones:

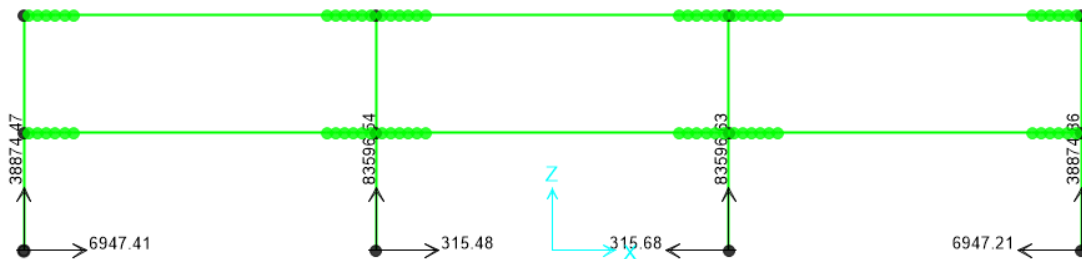


Ilustración 40: Diagrama de Reacciones para la combinación de carga: 1.2D+1.6L

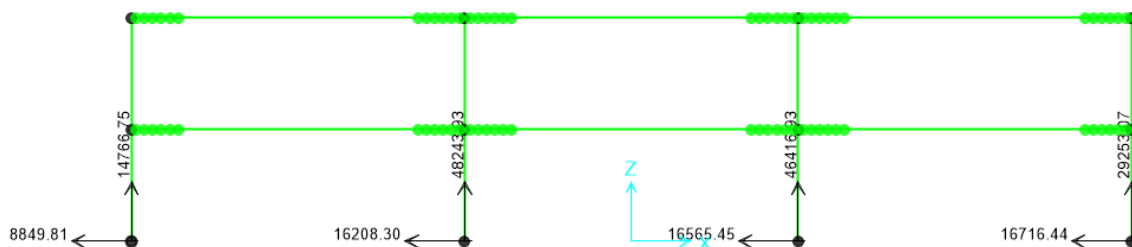


Ilustración 41: Diagrama de Fuerzas Reacciones para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E

- **Deflexiones:**

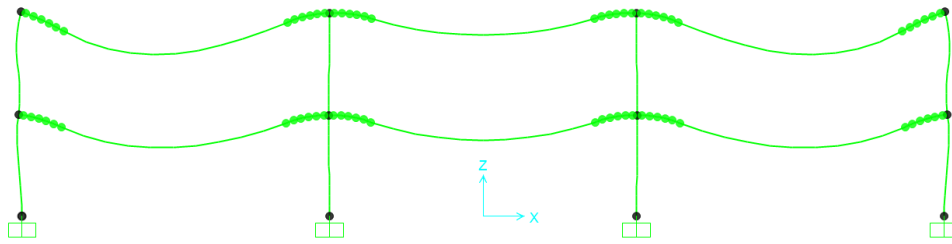


Ilustración 42: Diagrama de Deflexiones para la combinación de carga: $1.2D+1.6L$

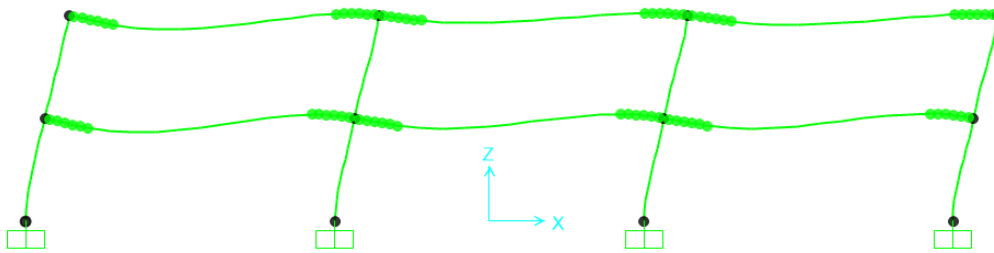


Ilustración 43: Diagrama de Deflexiones para la combinación de carga: $1.1 (D+0.25L)+E$

- **Momentos:**

Siendo estos últimos resultados el foco de estudio de este trabajo, ya que se analizará los momentos en los nodos y su comportamiento, como también el refuerzo de acero mínimo que debería contener.

Más adelante se tabulará los resultados y se se hará su respectivo análisis.

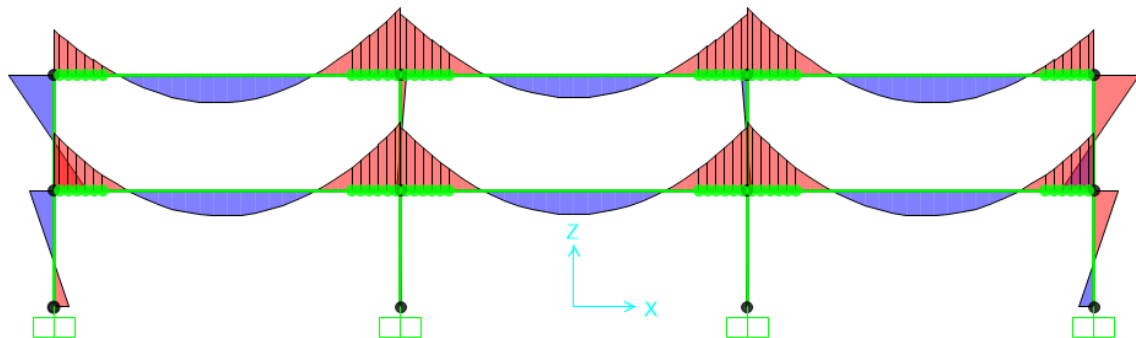


Ilustración 44: Diagrama de Momentos para la combinación de carga: $1.2D+1.6L$

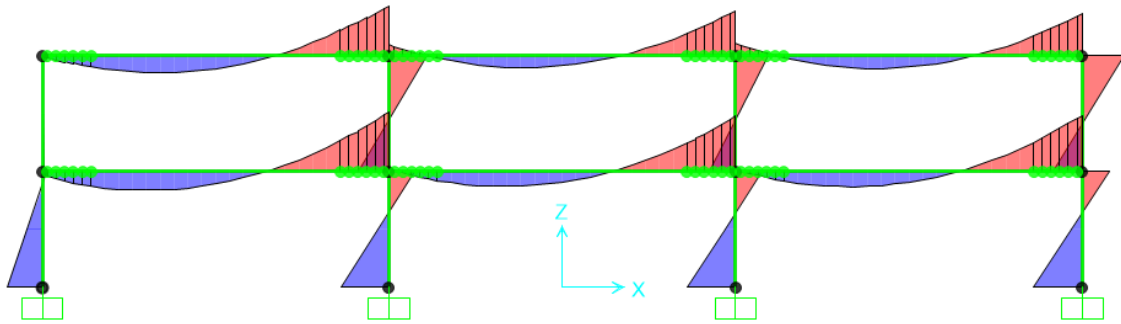


Ilustración 45: Diagrama de Momentos para la combinación de carga: 1.1 (D+0.25L)+E

3.4.2 MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF).

Como un procedimiento anexo al presente estudio se realizó la modelación de la estructura por el método de elementos finitos. A continuación se detalla el procedimiento que se siguió con la utilización del software SAP2000.

1. Con las dimensiones establecidas del pórtico formado por las losas TT y los muros, se modeló la estructura a través de AutoCAD Civil3D.

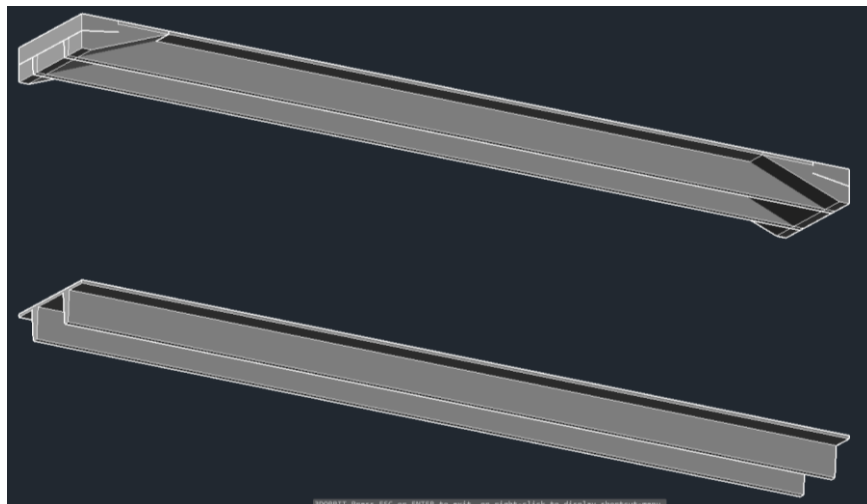


Ilustración 46: Estructura Modelada en AutoCAD Civil3D para modelamiento mediante "Solids"

2. Con el fin de exportar la estructura a SAP2000, se procedió a dividir las caras que forman los elementos en áreas, a través del comando “Mesh”.

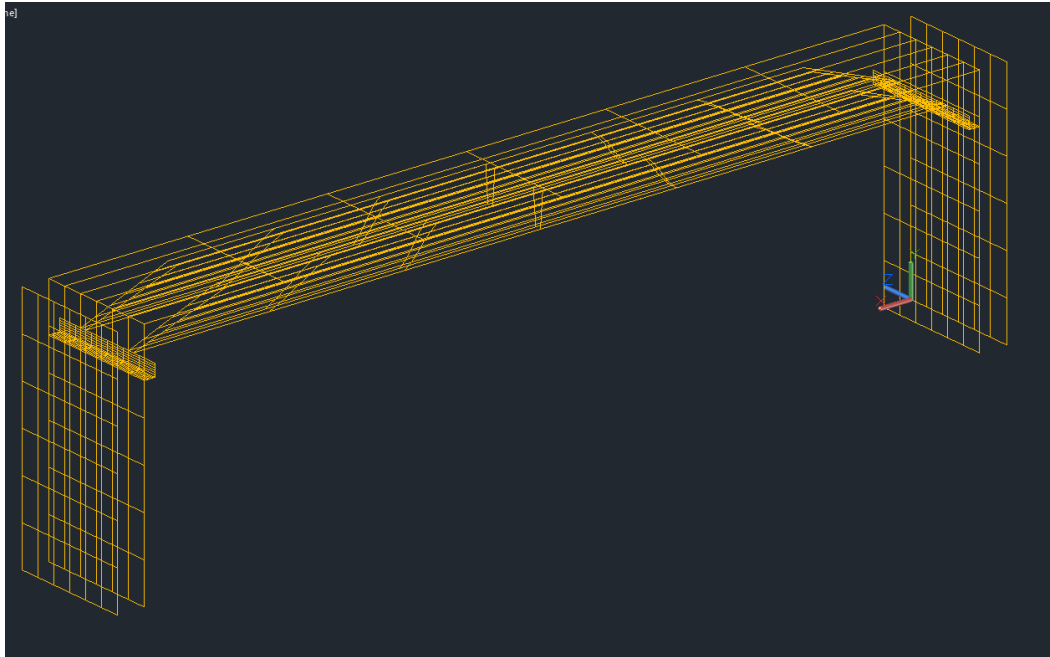


Ilustración 47: Modelamiento por división de caras en AutoCAD Civil3D

3. Como siguiente paso, se importa el archivo guardado y se lo abre en SAP2000, donde el programa leerá todas las coordenadas de las áreas creadas anteriormente.

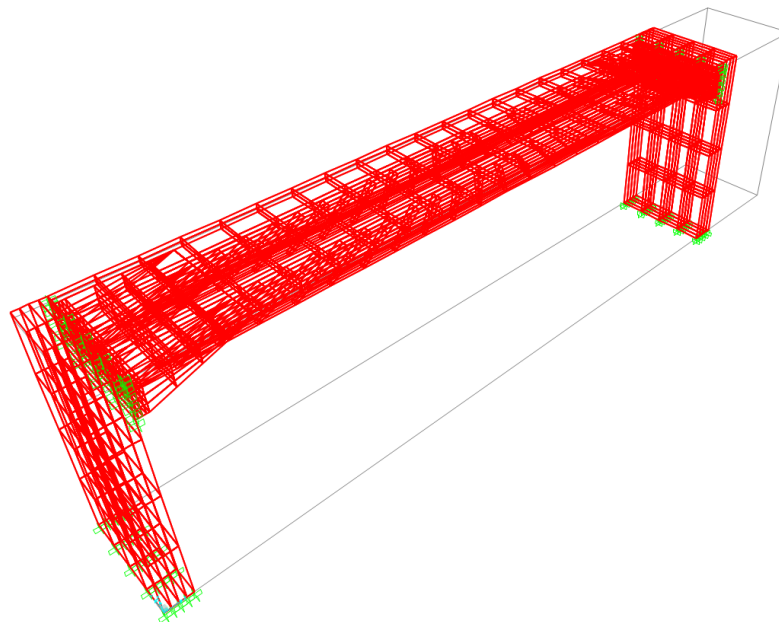


Ilustración 48: Estructura importada desde AutoCAD a SAP2000

4. La figura se importa como elementos de área tipo “Shell”, por lo que se procedió a extruir la figura y formar un sólido.

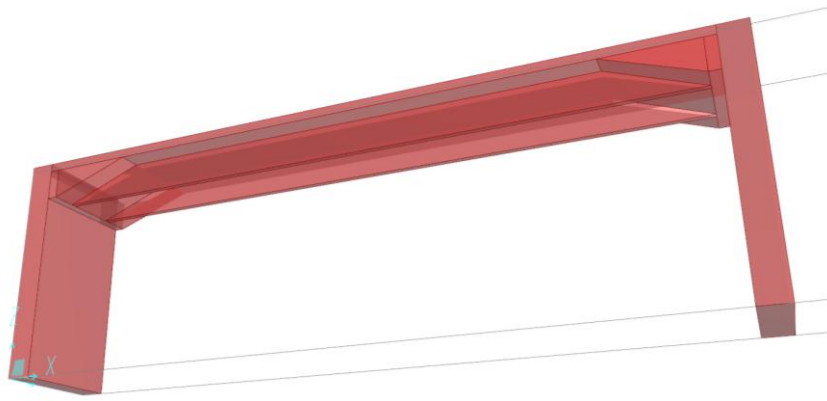


Ilustración 49: Estructura modelada en SAP2000 mediante elementos "Solids"

5. El siguiente paso consistió en discretizar la estructura, para ello se dividió los elementos en miles de sólidos.

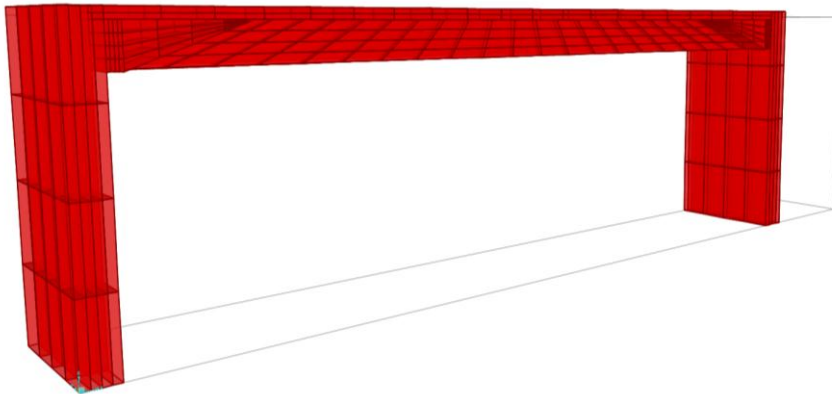


Ilustración 50: Discretización del elemento "Solids"

6. A continuación se asigna las restricciones correspondientes, para este caso los muros estarán empotrados al suelo.

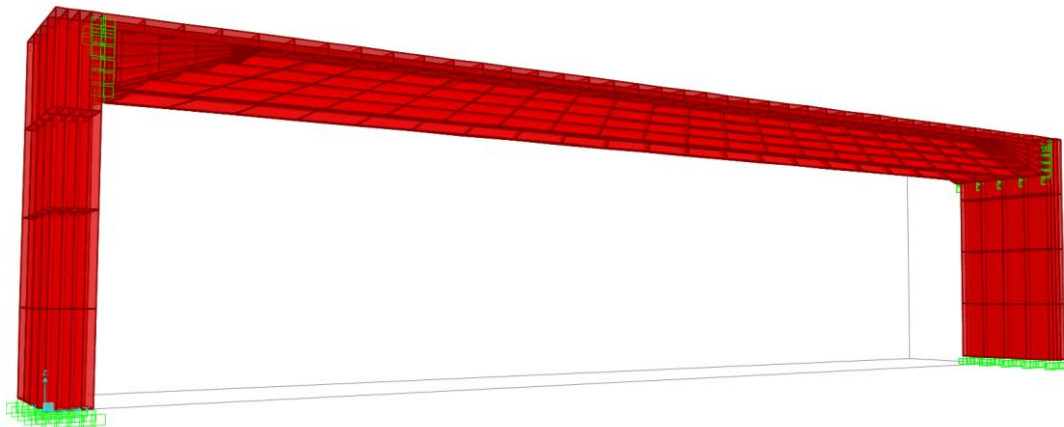


Ilustración 51: Asignación de restricciones al elemento

7. Como siguiente paso se asigna las propiedades del material al elemento sólido.

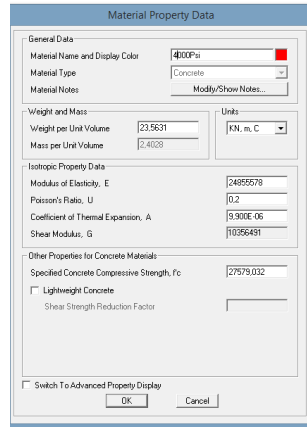


Ilustración 52: Asignación de propiedades del material al elemento

8. Una vez asignada las propiedades del material y las restricciones, se procede a colocar las diferentes cargas con las combinaciones respectivas.

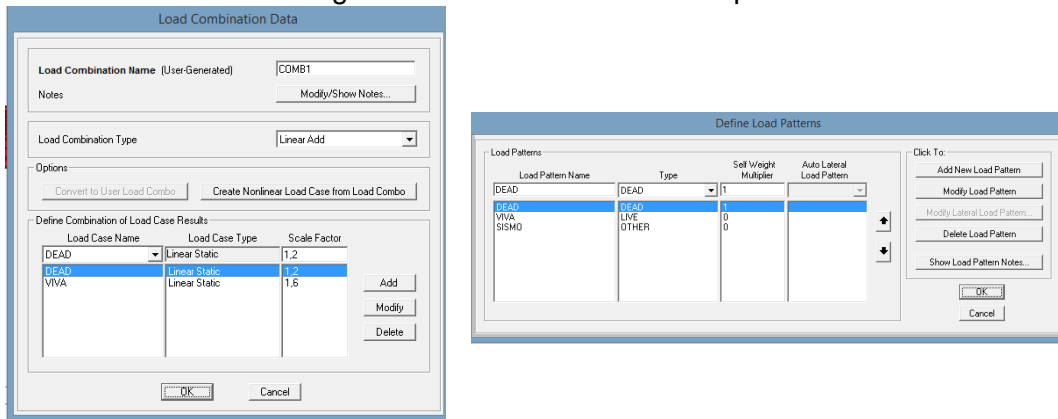


Ilustración 53: Combinaciones de carga para el elemento

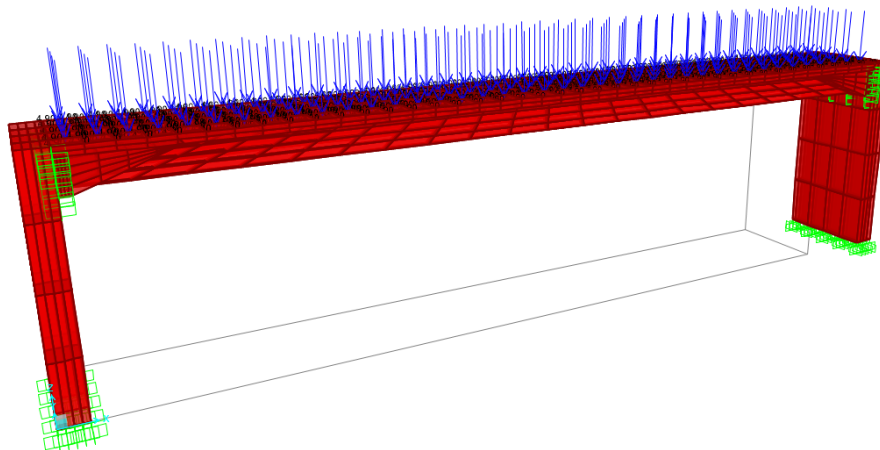


Ilustración 54: Cargas asignadas al elemento

9. Cumplidas todas las etapas anteriores, se hace correr el programa para el análisis de la estructura modelada.

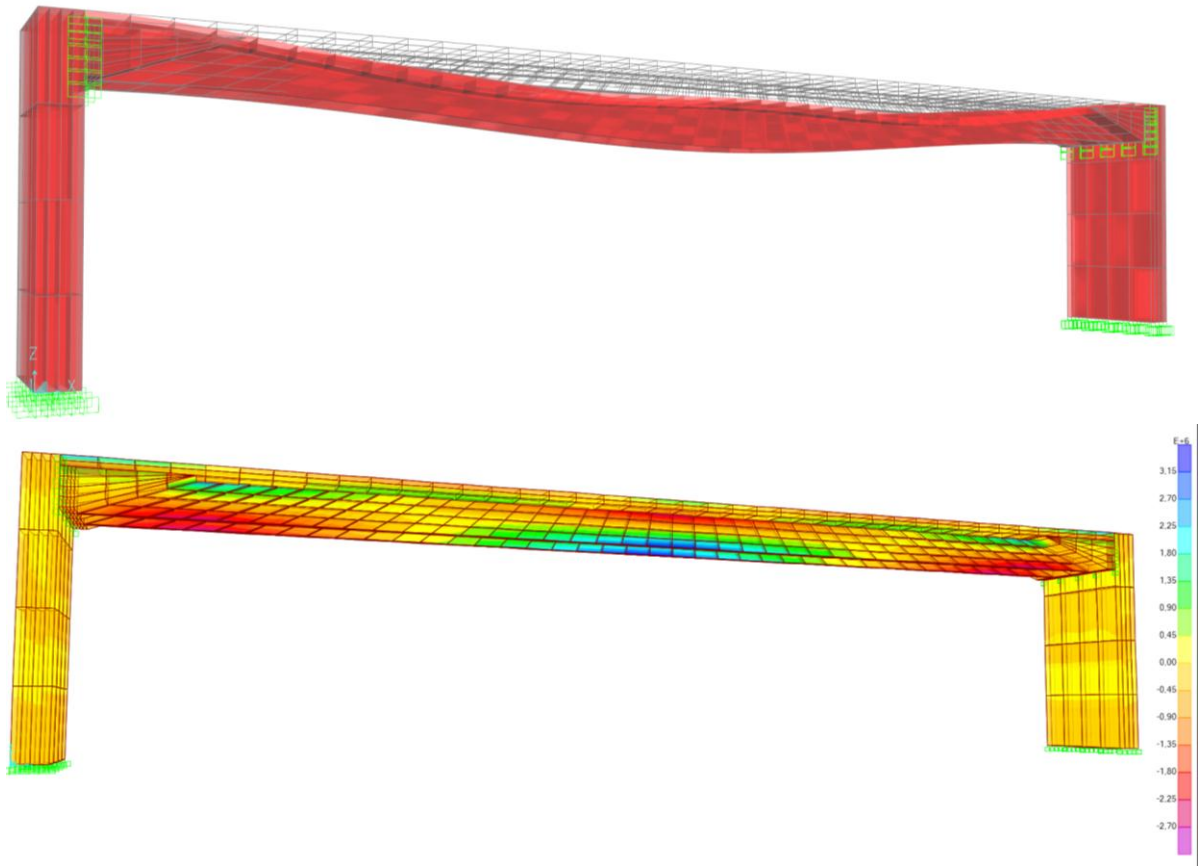


Ilustración 55: Estructura modelada por elementos "Solids"

Como se puede observar en la figura, las zonas azules tienen valores de momento positivo, mientras que las rojas tienen momento negativo, es decir las zonas azules están a tracción y las rojas a compresión. En el siguiente capítulo se detallarán los resultados obtenidos con esta modelación.



CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el capítulo anterior se describió el procedimiento para la modelación de la estructura a través de los dos métodos ya descritos. En el presente capítulo se realizará un análisis de los resultados obtenidos a través de la modelación con elementos “Frame” para las variantes de sección y luz de las losas. Como un anexo al presente estudio se detallará los resultados obtenidos de la modelación por Elementos Finitos de un pórtico formado por los muros y las losas TT de sección variable para las luces de 12, 14, 16 y 18 m.

4.1 RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN POR ELEMENTOS “FRAME”

Con el objetivo de estudiar las conexiones entre los muros y las losas, el análisis de los resultados obtenidos estará encaminado a los valores de momento y cortante en los nudos de la estructura.

A continuación se detalla los valores obtenidos para las variantes de sección y luz de las losas.

4.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE MOMENTO Y CORTANTE PARA LAS LOSAS DE SECCIÓN CONSTANTE

Para una mejor apreciación, se tabularán los resultados obtenidos con las dos combinaciones de carga para las diferentes luces, donde los valores de momento y cortante se detallan por zonas, basados en la siguiente ilustración.

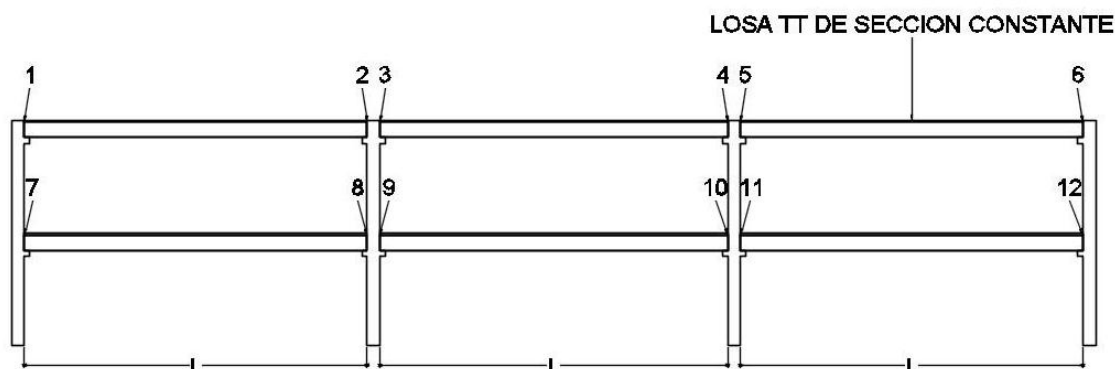


Ilustración 56: Zonas de análisis de momento y cortante para losas TT de sección constante

L= 12 m		SECCIÓN: CONSTANTE		
RESULTADOS DE CORTANTE Y MOMENTO EN LAS ZONAS DE INTERES DE ACUERDO A LA COMBINACIÓN DE CARGA				
COMBINACIÓN DE CARGA	1.2D+1.6L		1.1(D+0.25L)+E	
ZONA	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)
1	0.00	-18369.60	0.00	-9688.80
2	0.00	18369.60	0.00	9688.80
3	0.00	-18369.60	0.00	-9688.80



4	0.00	18369.60	0.00	9688.80
5	0.00	-18369.60	0.00	-9688.80
6	0.00	18369.60	0.00	9688.80
7	0.00	-18369.60	0.00	-9688.80
8	0.00	18369.60	0.00	9688.80
9	0.00	-18369.60	0.00	-9688.80
10	0.00	18369.60	0.00	9688.80
11	0.00	-18369.60	0.00	-9688.80
12	0.00	18369.60	0.00	9688.80

Tabla 19: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección constante para $L=12m$

L= 14 m		SECCIÓN: CONSTANTE		
RESULTADOS DE CORTANTE Y MOMENTO EN LAS ZONAS DE INTERES DE ACUERDO A LA COMBINACIÓN DE CARGA				
COMBINACIÓN DE CARGA	1.2D+1.6L		1.1(D+0.25L)+E	
ZONA	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)
1	0.00	-21322.00	0.00	-11203.50
2	0.00	21322.00	0.00	11203.50
3	0.00	-21322.00	0.00	-11203.50
4	0.00	21322.00	0.00	11203.50
5	0.00	-21322.00	0.00	-11203.50
6	0.00	21322.00	0.00	11203.50
7	0.00	-21322.00	0.00	-11203.50
8	0.00	21322.00	0.00	11203.50
9	0.00	-21322.00	0.00	-11203.50
10	0.00	21322.00	0.00	11203.50
11	0.00	-21322.00	0.00	-11203.50
12	0.00	21322.00	0.00	11203.50

Tabla 20: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección constante para $L=14m$

L= 16 m		SECCIÓN: CONSTANTE		
RESULTADOS DE CORTANTE Y MOMENTO EN LAS ZONAS DE INTERES DE ACUERDO A LA COMBINACIÓN DE CARGA				
COMBINACIÓN DE CARGA	1.2D+1.6L		1.1(D+0.25L)+E	
ZONA	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)
1	0.00	-24368.00	0.00	-12804.00
2	0.00	24368.00	0.00	12804.00
3	0.00	-24368.00	0.00	-12804.00
4	0.00	24368.00	0.00	12804.00
5	0.00	-24368.00	0.00	-12804.00
6	0.00	24368.00	0.00	12804.00
7	0.00	-24368.00	0.00	-12804.00
8	0.00	24368.00	0.00	12804.00
9	0.00	-24368.00	0.00	-12804.00
10	0.00	24368.00	0.00	12804.00
11	0.00	-24368.00	0.00	-12804.00
12	0.00	24368.00	0.00	12804.00

Tabla 21: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección constante para $L=16m$

L= 18 m		SECCIÓN: CONSTANTE		
RESULTADOS DE CORTANTE Y MOMENTO EN LAS ZONAS DE INTERES DE ACUERDO A LA COMBINACIÓN DE CARGA				
COMBINACIÓN DE CARGA	1.2D+1.6L		1.1(D+0.25L)+E	
ZONA	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)
1	0.00	-27414.00	0.00	-14404.50
2	0.00	27414.00	0.00	14404.50



3	0.00	-27414.00	0.00	-14404.50
4	0.00	27414.00	0.00	14404.50
5	0.00	-27414.00	0.00	-14404.50
6	0.00	27414.00	0.00	14404.50
7	0.00	-27414.00	0.00	-14404.50
8	0.00	27414.00	0.00	14404.50
9	0.00	-27414.00	0.00	-14404.50
10	0.00	27414.00	0.00	14404.50
11	0.00	-27414.00	0.00	-14404.50
12	0.00	27414.00	0.00	14404.50

Tabla 22: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección constante para $L=18m$

Estas tablas indican los valores más relevantes o de gran importancia en los nudos Losa-Muro para las diferentes combinaciones, como se puede observar, en estos pórticos conformados por losas TT de sección constante, no se generan momentos negativos (en el nodo), debido a que la losa trabaja como un elemento isostático, es decir que permite grandes rotaciones en los extremos.

A continuación se resumen los valores máximos que se generan en los nudos entre losa-muro en los extremos superiores, para las diferentes losas TT de sección constante:

RESUMEN DE VALORES MÁXIMOS PARA LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE								
COMBINACIÓN DE CARGA:	1.2D+1.6L				1.1(D+0.25L)+E			
L (m)	MOMENTO EN EL NUDO (Kgf-m)	CORTANTE EN EL NUDO (Kgf)	AXIAL (Kgf)	DEFLEXIÓN EN EL CENTRO (m)	MOMENTO EN EL NUDO (Kgf-m)	CORTANTE EN EL NUDO (Kgf)	AXIAL (Kgf)	DEFLEXIÓN EN EL CENTRO (m)
12	0.00	18369.60	0.00	0.02	0.00	9688.80	0.00	0.01
14	0.00	21322.00	0.00	0.03	0.00	11203.50	0.00	0.02
16	0.00	24368.00	0.00	0.07	0.00	12804.00	0.00	0.04
18	0.00	27414.00	0.00	0.11	0.00	14404.50	0.00	0.06

Tabla 23: Resumen de valores máximos para losas TT de sección constante

Haciendo un breve análisis de acuerdo a los resultados, se aprecian deflexiones mayores en la combinación de carga 1, con respecto a la combinación 2.

También de acuerdo al comportamiento lógico de las estructuras el cortante y la deflexión van aumentando a medida que aumenta la luz de la losa TT.

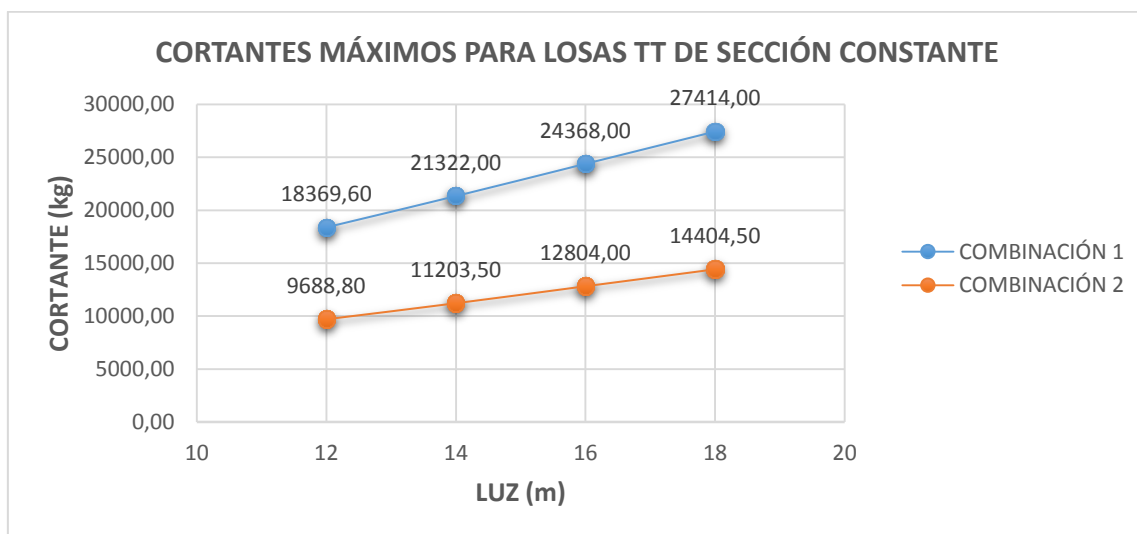


Ilustración 57: Cortantes máximos para losas TT de sección constante

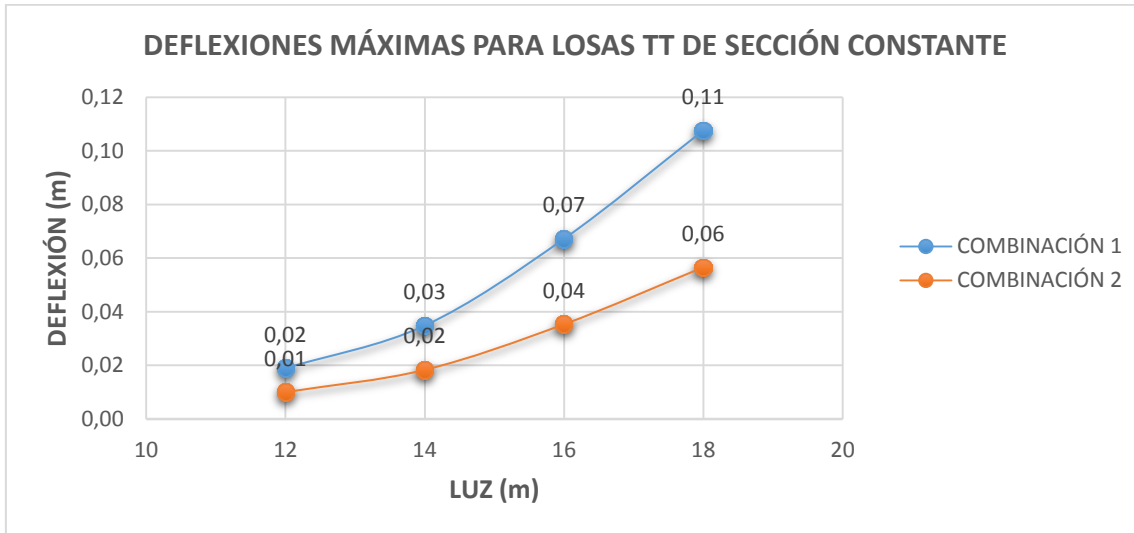


Ilustración 58: Deflexiones máximas para losas TT de sección constante

4.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE MOMENTO Y CORTANTE PARA LAS LOSAS DE SECCIÓN VARIABLE

Al igual que la sección anterior, para una mejor apreciación, se tabularán los resultados obtenidos con las dos combinaciones de carga para las diferentes luces, donde los valores de momento y cortante se detallan por zonas, basados en la siguiente ilustración.

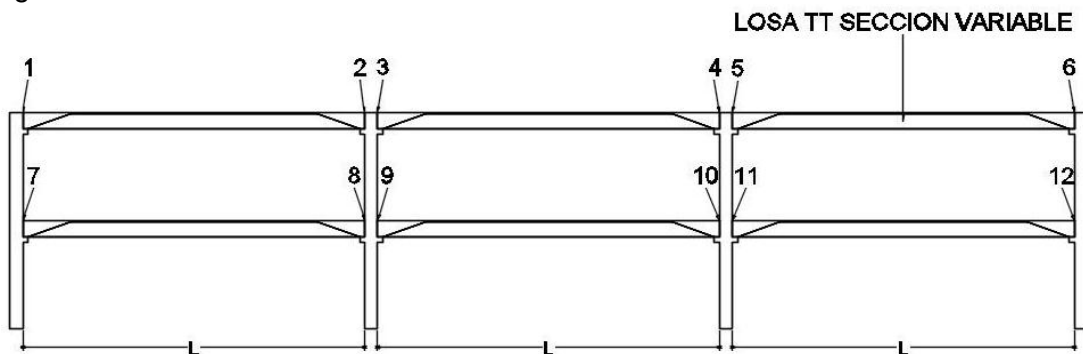


Ilustración 59: Zonas de análisis de momento y cortante para losas TT de sección variable

L= 12 m		SECCIÓN: VARIABLE		
RESULTADOS DE CORTANTE Y MOMENTO EN LAS ZONAS DE INTERÉS DE ACUERDO A LA COMBINACIÓN DE CARGA				
COMBINACIÓN DE CARGA	1.2D+1.6L		1.1(D+0.25L)+E	
ZONA	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)
1	-31855.41	-19083.05	885.49	-7856.97
2	-47801.35	21740.70	-43511.53	15256.48
3	-43358.27	-20411.82	-9604.08	-9065.87
4	-43358.95	20411.93	-39494.31	14047.58
5	-47800.82	-21740.70	-10617.30	-9361.64
6	19083.05	-31854.96	-36958.27	13751.80
7	-40848.36	-19791.42	3206.25	-6909.78
8	-48293.76	21032.33	-52557.10	16203.67
9	-45493.64	-20411.69	-2726.26	-7717.91



10	-45495.85	20412.06	-48791.97	15395.53
11	-48291.24	-21031.94	-2129.54	-7612.18
12	-40850.40	19791.81	-49646.07	15501.27

Tabla 24: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección variable para $L=12m$

L= 14 m		SECCIÓN: VARIABLE		
RESULTADOS DE CORTANTE Y MOMENTO EN LAS ZONAS DE INTERES DE ACUERDO A LA COMBINACIÓN DE CARGA				
COMBINACIÓN DE CARGA	1.2D+1.6L		1.1(D+0.25L)+E	
ZONA	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)
1	-44320.72	-22429.19	-6281.42	-10179.12
2	-63678.33	25194.56	-52517.88	16784.33
3	-58082.35	-23811.81	-17677.81	-11309.18
4	-58083.21	23811.94	-48093.37	15654.26
5	-63677.59	-25194.53	-19589.01	-11744.77
6	-44320.44	22429.22	-43906.37	15218.68
7	-56042.46	-23203.07	-6875.81	-9643.37
8	-64565.74	24420.68	-60612.79	17320.08
9	-61250.81	-23811.67	-12396.78	-10298.34
10	-61253.67	23812.08	-56964.12	16665.10
11	-64562.53	-24420.25	-12498.64	-10332.54
12	-56045.22	23203.50	-56587.15	16630.90

Tabla 25: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección variable para $L=14m$

L= 16 m		SECCIÓN: VARIABLE		
RESULTADOS DE CORTANTE Y MOMENTO EN LAS ZONAS DE INTERES DE ACUERDO A LA COMBINACIÓN DE CARGA				
COMBINACIÓN DE CARGA	1.2D+1.6L		1.1(D+0.25L)+E	
ZONA	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)
1	-58084.92	-25445.01	-11729.44	-11833.85
2	-80669.15	28268.03	-63683.48	18328.00
3	-73954.54	-26856.45	-24334.45	-12931.65
4	-73955.61	26856.59	-58723.82	17230.32
5	-80668.18	-28267.98	-26914.67	-13419.05
6	-58084.87	25445.06	-53505.62	16742.92
7	-72602.87	-26265.57	-14370.35	-11488.45
8	-82058.06	27447.47	-71850.87	18673.51
9	-78271.29	-26856.30	-19845.72	-12067.42
10	-78274.81	26856.74	-68062.66	18094.54
11	-82054.15	-27447.01	-20306.45	-12151.90
12	-72606.36	26266.03	-67171.74	18010.06

Tabla 26: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección variable para $L=16m$

L= 18 m		SECCIÓN: VARIABLE		
---------	--	-------------------	--	--



RESULTADOS DE CORTANTE Y MOMENTO EN LAS ZONAS DE INTERES DE ACUERDO A LA COMBINACIÓN DE CARGA					
COMBINACIÓN DE CARGA	1.2D+1.6L			1.1(D+0.25L)+E	
ZONA	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	MOMENTO(kgf-m)	CORTANTE (Kgf)	
1	-73723.37	-28469.82	-18234.72	-13487.42	
2	-99639.52	31349.39	-75844.69	19888.53	
3	-91760.76	-29909.53	-32071.33	-14562.73	
4	-91762.08	29909.68	-70325.63	18813.21	
5	-99638.27	-31349.31	-35342.68	-15094.01	
6	-73723.59	28469.90	-64034.02	18281.94	
7	-91257.33	-29332.59	-23060.81	-13297.19	
8	-101643.52	30486.61	-84094.90	20078.76	
9	-97370.09	-29909.37	-28527.49	-13821.10	
10	-97374.32	29909.84	-80131.16	19554.84	
11	-101638.88	-30486.12	-29327.74	-13940.82	
12	-91261.58	29333.09	-78776.42	19435.12	

Tabla 27: Resultados de momento y cortante para losas TT de sección variable para $L=18m$

Estas tablas indican los momentos y cortantes más relevantes en las zonas (nudos) de la estructura, con estos resultados, se pretende calcular el acero de refuerzo necesario en cada nodo, por seguridad se calculara el acero de refuerzo con el momento máximo de entre los nodos de estudio.

A continuación se resumen los valores máximos que se generan en los nudos entre losa-muro en los extremos superiores, para las diferentes losas TT de sección variable:

RESUMEN DE VALORES MAXIMOS PARA LOSAS TT DE SECCIÓN VARIABLE								
COMBINACIÓN DE CARGA:	1.2D+1.6L				1.1(D+0.25L)+E			
L (m)	MOMENTO EN EL NUDO (Kgf-m)	CORTANTE EN EL NUDO (Kgf)	AXIAL (Kgf)	DEFLEXIÓN EN EL CENTRO (m)	MOMENTO EN EL NUDO (Kgf-m)	CORTANTE EN EL NUDO (Kgf)	AXIAL (Kgf)	DEFLEXIÓN EN EL CENTRO (m)
12	-48293.76	21740.70	-16914.47	0.004	-52557.10	16466.97	-13101.85	0.003
14	-64565.74	25194.56	-22619.39	0.008	-60612.79	17797.82	-16300.74	0.006
16	-82058.06	28360.42	-28737.90	0.014	-71850.87	19397.57	-20004.02	0.009
18	-101643.52	31807.90	-35564.79	0.022	-84094.90	21065.50	-24067.44	0.014

Tabla 28: Resumen de valores máximos para losas TT de sección variable

En estos resultados, también se aprecian deflexiones, momentos, cortantes y fuerzas axiales mayores en la combinación de carga 1, con respecto a la combinación 2.

Y de acuerdo al comportamiento lógico de las estructuras el cortante, la deflexión y el momento van aumentando a medida que aumenta la luz de la losa.

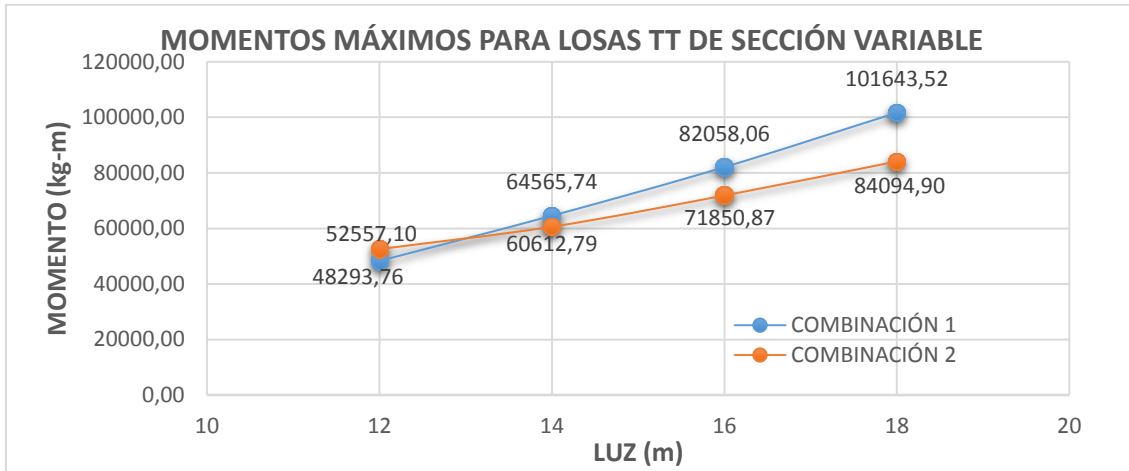


Ilustración 60: Momentos máximos para losas TT de sección variable

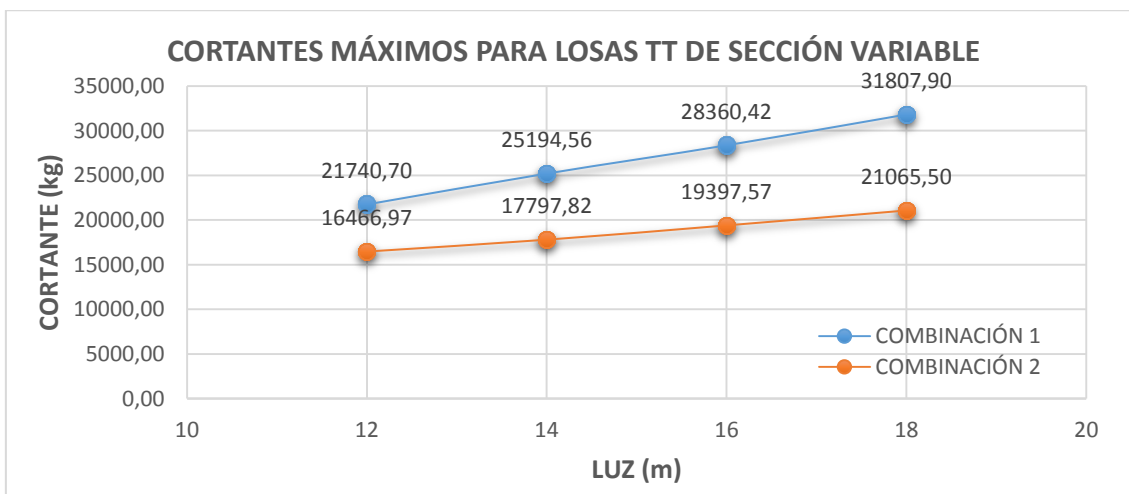


Ilustración 61: Cortantes máximos para losas TT de sección variable

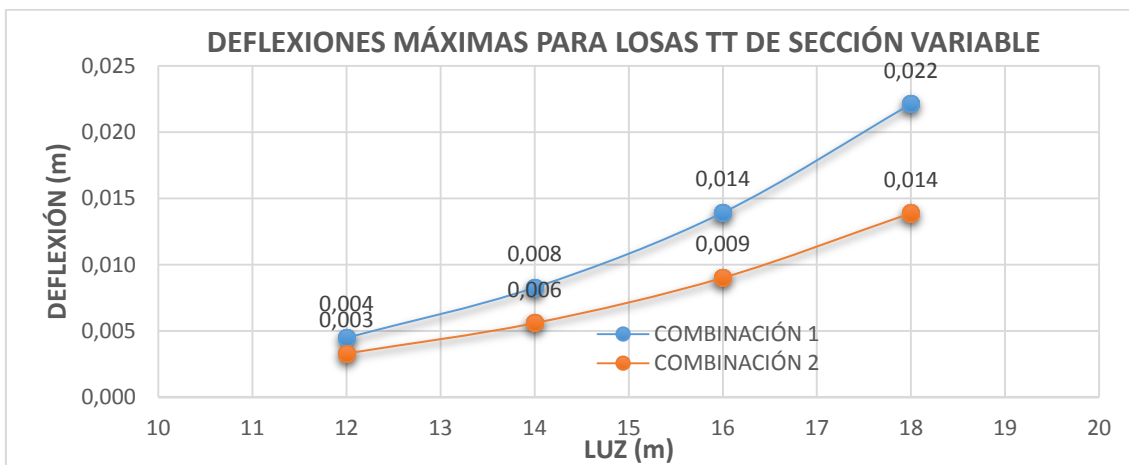


Ilustración 62: Deflexiones máximas para losas TT de sección variable

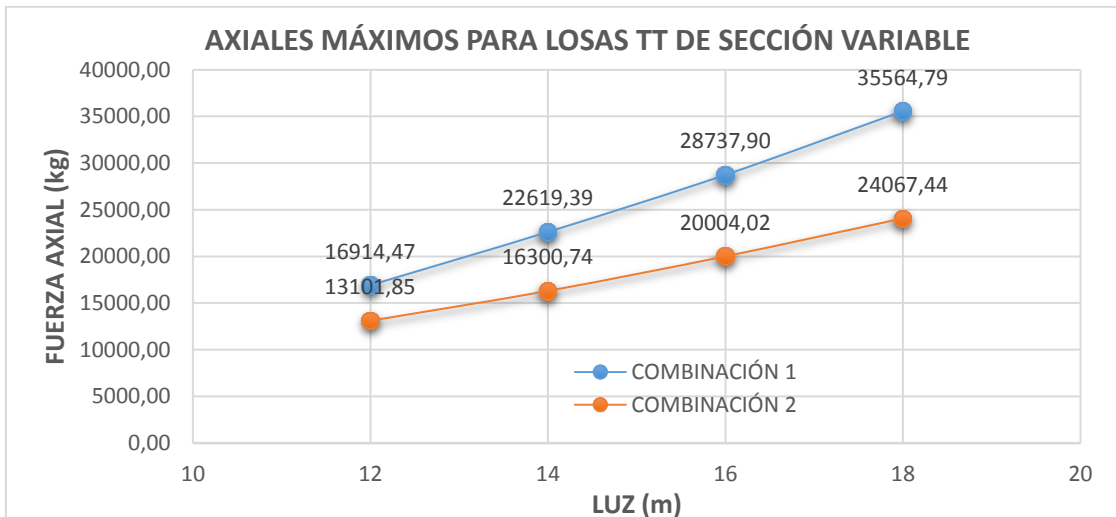


Ilustración 63: Axiales máximas para losas TT de sección variable

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS

Como se explicó en la introducción al presente capítulo, se realizó un estudio anexo para obtener los valores de momento y cortante para las losas TT de sección variable.

Como ventaja de este método es que se puede realizar una modelación más exacta de la estructura, en donde se puede apreciar las zonas del elemento más esforzadas de acuerdo a las distintas solicitaciones con resultados más precisos. Sin embargo la desventaja de esta metodología es que para su ejecución se requiere ordenadores más potentes que puedan mostrar los resultados requeridos. Es por tal motivo que no se modeló la estructura completa sino se analizó solo un marco.

Como se puede apreciar en las siguientes gráficas, se tiene un pórtico modelado en donde las zonas azules-verdes tienen valores de momento positivo, mientras que las rojas tienen momento negativo, es decir las zonas azules están a tracción y las rojas a compresión.

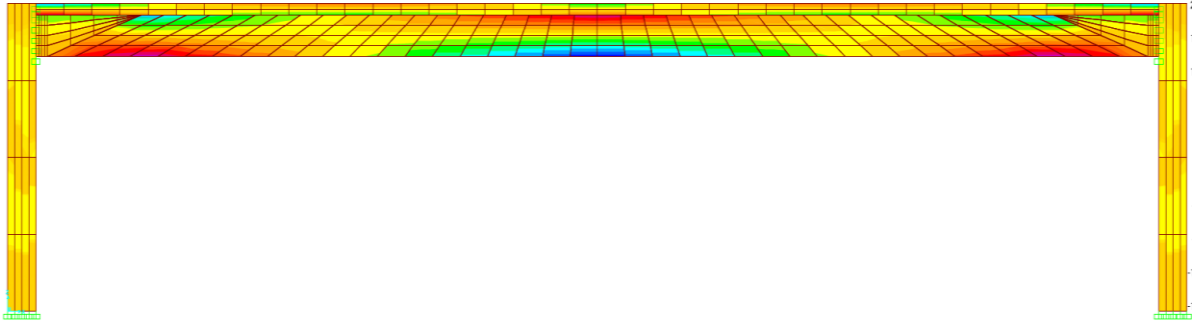


Ilustración 64: Vista frontal de la estructura modelada con elementos finitos

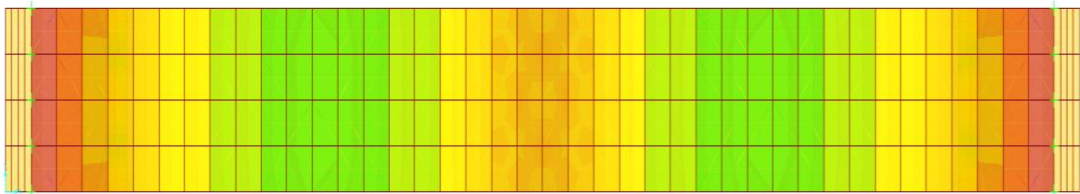


Ilustración 65: Vista superior de la estructura modelada en elementos finitos

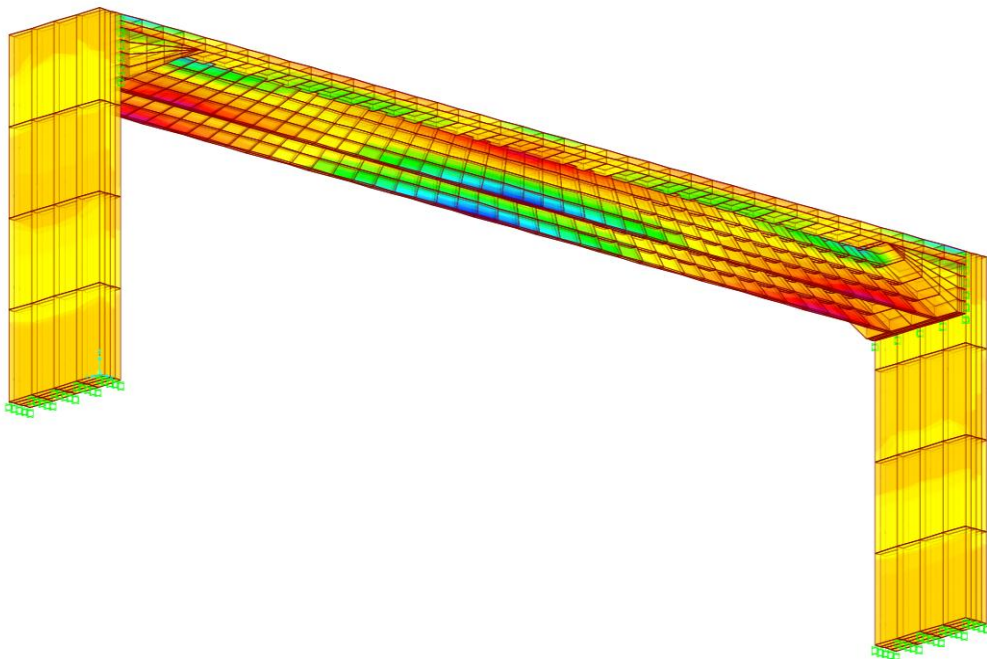


Ilustración 66: Vista en perspectiva de la estructura modelada en elementos finitos



4.2.1 RESULTADOS PARA UNA LUZ DE 12m

TABLE: Section Cut Forces - Design					
SectionCut	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
EXTREMO	COMBINACION 1	Combination	4381,75	-20048,32	-39225,33
EXTREMO	COMBINACION 2	Combination	2270,96	-11227,63	-20591,54
CENTRO	COMBINACION 1	Combination	4381,75	-8,816E-07	14951,02
CENTRO	COMBINACION 2	Combination	2270,96	-4,397E-07	7584,63

Tabla 29: Resultados de momento y cortante obtenidos para una luz de 12m

4.2.2 RESULTADOS PARA UNA LUZ DE 14m

TABLE: Section Cut Forces - Design					
SectionCut	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
EXTREMO	COMBINACION 1	Combination	1481,19	-22975,85	-49088,93
EXTREMO	COMBINACION 2	Combination	741,16	-12719,53	-25540,83
CENTRO	COMBINACION 1	Combination	1481,19	-0,000000085	24028,35
CENTRO	COMBINACION 2	Combination	741,16	-3,672E-08	12287,07

Tabla 30: Resultados de momento y cortante obtenidos para una luz de 14m

4.2.3 RESULTADOS PARA UNA LUZ DE 16m

TABLE: Section Cut Forces - Design					
SectionCut	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
EXTREMO	COMBINACION 1	Combination	6148,25	-25903,38	-68053,82
EXTREMO	COMBINACION 2	Combination	3211,39	-14211,44	-35307,95
CENTRO	COMBINACION 1	Combination	6148,25	-9,121E-08	27010,21
CENTRO	COMBINACION 2	Combination	3211,39	-5,634E-08	13704,17

Tabla 31: Resultados de momento y cortante obtenidos para una luz de 16m

4.2.4 RESULTADOS PARA UNA LUZ DE 18m

TABLE: Section Cut Forces - Design					
SectionCut	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
EXTREMO	COMBINACION 1	Combination	7064,56	-28830,91	-85097,54
EXTREMO	COMBINACION 2	Combination	3699,19	-15703,34	-44010,89



CENTRO	COMBINACION 1	Combination	7064,56	-5,902E-07	34849,2
CENTRO	COMBINACION 2	Combination	3699,19	-2,652E-07	17681,71

Tabla 32: Resultados de momento y cortante obtenidos para una luz de 18m

4.2.5 TABLA RESUMEN DE LOS VALORES OBTENIDOS.

LUZ	COMBINACION 1		COMBINACION 2	
	MOMENTO (Kg-m)	CORTANTE (kg)	MOMENTO (Kg-m)	CORTANTE (kg)
12	-39225,33	-20048,32	-20591,54	-11227,63
14	-49088,93	-22975,85	-25540,83	-12719,53
16	-68053,82	-25903,38	-35307,95	-14211,44
18	-85097,54	-28830,91	-44010,89	-15703,34

Tabla 33: Resumen de valores obtenidos

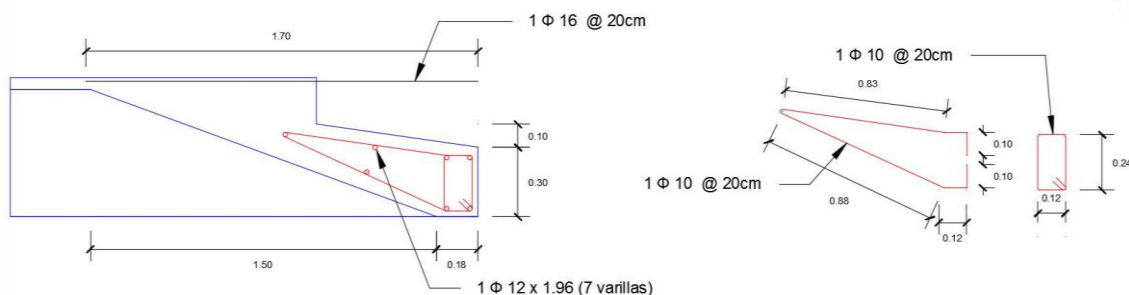
Como se puede observar estos valores se asemejan a los obtenidos por la modelación con Elementos "Frame", sin embargo la variación existente se debe a que no se modelo toda la estructura completa, razón por la cual, para los siguientes análisis se utilizarán los resultados obtenidos por la modelación con Elementos "Frame".

4.3. CÁLCULO DEL REFUERZO EN LA CARPETA PARA MOMENTO NEGATIVO EN LOSAS TT DE SECCION VARIABLE

Se consideró los momentos negativos en los nodos por ser el foco de estudio.

Se utilizaron los momentos negativos máximos obtenidos a través de la modelación por Elementos "Frame" como referente para el cálculo del refuerzo.

Las losas TT pretensadas vienen de fábrica con acero de refuerzo para los momentos negativos en la parte superior de la losa, como se indica en la siguiente ilustración:



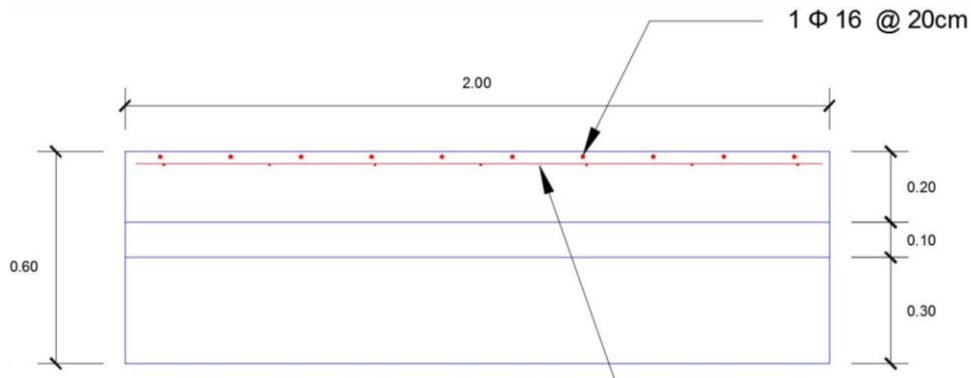


Ilustración 67: Armadura de refuerzo en la sección maciza

Nuestro refuerzo de interés, está en el extremo superior de la losa, que consta de 10 varillas de 16 mm de diámetro distribuido en 2 metros de sección, es decir ubicados con un espaciamiento de 20cm.

Partiendo del momento nominal (M_n) que genera esta cantidad de acero, comparamos con el momento último (M_u) que genera las cargas muertas vivas y de sismo, en caso de M_u ser mayor a M_n , se calculará el acero de refuerzo faltante, el mismo que se colocará en la carpeta hormigonada in situ para que cumpla la siguiente relación:

$$M_u = \phi M_n ,$$

Donde $\phi = 0.9$ (Factor de reducción)

4.3.1. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE ACERO DE REFUERZO

a. Definimos las características de los materiales de la siguiente manera:

$f_y =$	4200	kg/cm ²	Esfuerzo de fluencia del acero
$f'_c =$	350	kg/cm ²	Esfuerzo de compresión del hormigón
$b =$	200	cm	Ancho tributario de la losa
$d_1 =$	57.5	cm	Peralte efectivo

b. Calculamos el área de refuerzo nominal que contiene la losa:

$$A_s = \# * \pi * \frac{\phi^2}{4}$$

DIAMETRO (cm)	# VARILLAS (u)	A_s (cm ²)
1.60	10.00	20.11

c. Calculamos el valor de “a” del bloque de compresión para el área de refuerzo anterior y el ancho tributario de la losa:

$$a = \frac{A_s}{f_y * A_s}$$



DIAMETRO (cm)	# VARILLAS (u)	As (cm ²)	a (cm)
1.60	10.00	20.11	1.42

- d. Calculamos el Momento Nominal (Mn), agregando el factor de reducción ($\phi = 0.9$) con la siguiente fórmula y utilizando los datos anteriores:

$$Mn = \phi * As * fy * \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

DIAMETRO (cm)	# VARILLAS (u)	As (cm ²)	a (cm)	MOMENTO NOMINAL, $\phi=0.9$ (Kg-m)
1.60	10.00	20.11	1.42	43161.48

- e. Con los resultados obtenidos por SAP2000, cogemos el momento máximo Mu de los nodos y comparamos con Mn, si Mn es mayor a Mu quiere decir que no necesita refuerzo en la carpeta, terminando ahí el análisis.

En caso de Mu ser mayor a Mn, obtenemos la diferencia de estos momentos, la misma que se define como el Momento Requerido en la carpeta:

MOMENTO NOMINAL DE LA LOSA					MOMENTO SAP2000 (Kg-m)	MOMENTO REQUERIDO EN LA CARPETA (Kg-m)
DIAMETRO (cm)	# VARILLAS (u)	As (cm ²)	a (cm)	MOMENTO NOMINAL, $\phi=0.9$ (Kg-m)		
1.60	10.00	20.11	1.42	43161.48	52557.10	9395.62

- f. Una vez obtenido el momento requerido en la carpeta, calculamos el acero de refuerzo y se escoge una cantidad y espaciamiento para una sección de 2 metros:

ACERO EN LA CARPETA DE HORMIGÓN, L=12 metros										
MOMENTO NOMINAL DE LA LOSA					MOMENTO SAP2000 (Kg-m)	MOMENTO REQUERIDO EN LA CARPETA (Kg-m)	ACERO REQUERIDO EN LA CARPETA			
DIAMETRO (cm)	# VARILLAS (u)	As (cm ²)	a (cm)	MOMENTO NOMINAL, $\phi=0.9$ (Kg-m)			As (cm ²)	DIAMETRO (cm)	# VARILLAS	ESPACIAMIENTO (cm)
1.60	10.00	20.11	1.42	43161.48	52557.10	9395.62	3.48	1.20	4.00	50.00

La siguiente tabla resume todo este análisis efectuado para las losas con luces de 12, 14, 16 y 18 metros, facilitando la comprensión al lector:



SECCION VARIABLE	RESUMEN										
	ACERO NECESARIO EN LA CARPETA DE HORMIGÓN										
	MOMENTO NOMINAL DE LA LOSA TT					MOMENTO SAP2000 (Kg-m)	MOMENTO REQUERIDO EN LA CARPETA (Kg-m)	ACERO REQUERIDO EN LA CARPETA			
LUZ (m)	DIAMETRO (cm)	# VARILLAS (u)	As (cm ²)	a (cm)	MOMENTO NOMINAL, $\phi=0.9$ (Kg-m)			As (cm ²)	DIAMETRO (cm)	# VARILLAS	ESPACIAMIENTO (cm)
12	1.60	10.00	20.11	1.42	43161.48	52557.10	9395.62	3.44	1.20	4.00	50.00
14	1.60	10.00	20.11	1.42	43161.48	64565.74	21404.26	7.93	1.20	8.00	25.00
16	1.60	10.00	20.11	1.42	43161.48	82058.06	38896.58	14.41	1.60	8.00	25.00
18	1.60	10.00	20.11	1.42	43161.48	101643.52	58482.04	21.66	1.80	9.00	22.00

Tabla 34: Resumen de valores obtenidos para acero de refuerzo en la carpeta

Con estos resultados se puede establecer que, para la carga solicitada las losas deben ser reforzadas en los nudos específicamente en la carpeta, con el fin de que cubra el excedente de momento último, ya que el refuerzo que viene incorporado de fábrica en las losas TT no es suficiente para cubrir este momento, dando una breve solución con diámetro y número de varillas para las diferentes losas, de esta manera se busca garantizar la continuidad de la estructura.

4.3.2 REVISIÓN DE LA CAPACIDAD A CORTANTE

La capacidad a cortante de un elemento aumenta si este ha sido preesforzado, la compresión ejercida por los cables de preesfuerzo aportan a dicha resistencia.

El valor del esfuerzo a corte que especifica el ACI es:

$$V_c = \left(0,16 \cdot \sqrt{f'_c} + 49 \cdot \frac{V_u \cdot dp}{M_u} \right) \cdot bw \cdot dp$$

Teniendo como límites mínimo $0,53 \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot dp$ y máximo $1,33 \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot dp$

Según el código ACI se debe cumplir con:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Donde V_n es la resistencia nominal del elemento y V_u la cortante ultima aplicada al elemento, ϕ es el factor de reducción de capacidad a cortante y equivale a 0,75. El valor de V_n es la suma de las contribuciones de resistencia a cortante del hormigón y el acero.

$$V_n = V_c + V_s$$

4.3.2.1 CAPACIDAD A CORTANTE DE LAS LOSAS TT DE SECCIÓN CONSTANTE

Aplicando las expresiones anteriores y con los valores de M_u y V_u obtenidos por SAP2000 se encuentra las aportaciones del hormigón y acero para la resistencia a cortante. Los valores obtenidos se resumen en la siguiente tabla.

Nota: para el presente estudio en la determinación de V_s se toma el acero de refuerzo del alma 2 ramas de malla electrosoldada de 5mm de diámetro con una separación de 15 cm.



CAPACIDAD A CORTANTE LOSAS TT SECCIÓN CONSTANTE				CORTANTE ÚLTIMA SAP2000
LUZ (m)	Vc (Kg)	Vs (kg)	$\emptyset Vn$ (kg)	Vu (kg)
12	27482	60424	65929,5	18369
14	27482	60424	65929,5	21322
16	27482	60424	65929,5	24368
18	27482	60424	65929,5	27414

Tabla 35: Cortante para losas TT de sección constante

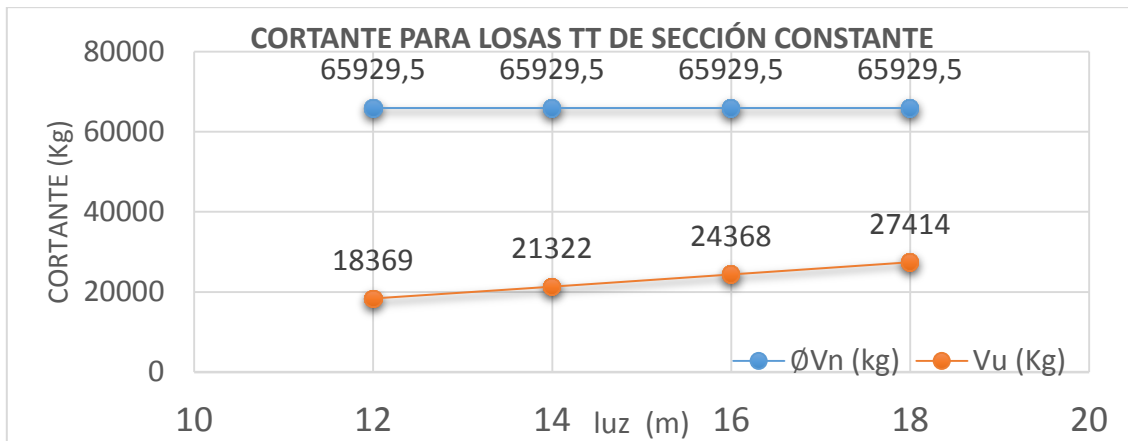


Ilustración 68: Cortante para losas TT de sección constante

4.2.2.1 CAPACIDAD A CORTANTE DE LAS LOSAS TT DE SECCIÓN VARIABLE

De la misma manera que para las losas TT de sección constante se obtienen los valores respectivos para las losas TT de sección variable.

Nota: para el cálculo de Vs, se tomó el acero de refuerzo descrito en la sección 4.3

CAPACIDAD A CORTANTE LOSAS TT SECCIÓN VARIABLE				CORTANTE ÚLTIMA SAP2000
LUZ(m)	Vc (Kg)	Vs (kg)	$\emptyset Vn$ (kg)	Vu (kg)
12	210189	21430	173714,25	21740
14	200478	21430	166431	25194
16	181584	21430	152260,5	28268
18	166615	21430	141033,75	31349

Tabla 36: Cortante para losas TT de variable

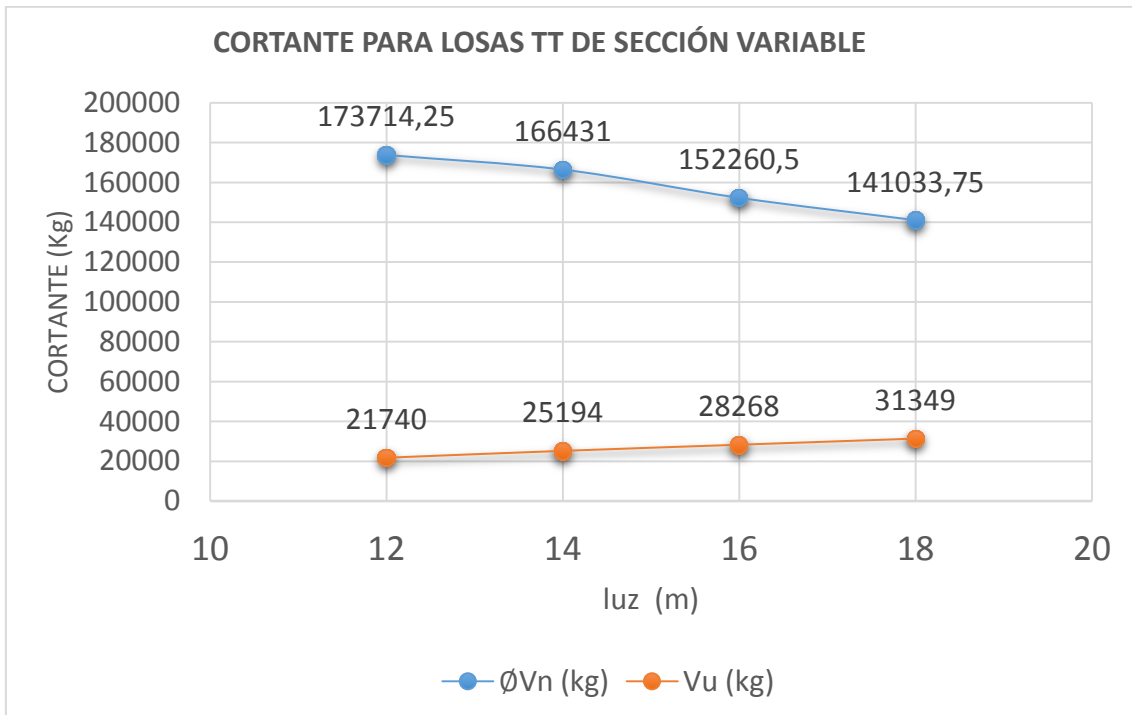


Ilustración 69: Cortante para losas TT de sección variable

Después de obtener los resultados de la capacidad a cortante, se puede observar claramente que las losas TT de sección variable poseen mayor capacidad a cortante que las losas de sección constante, sobre todo por la contribución de la resistencia que aporta el hormigón.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Son varias las conclusiones que se pueden extraer al finalizar el presente trabajo de titulación.

En lo referente el marco teórico, se estudió más a fondo acerca de los sistemas constructivos a base de elementos prefabricados, donde se pudo conocer las ventajas y desventajas de su uso. Entre las ventajas más importantes de su utilización, se tiene una mejor calidad de los elementos, una reducción del tiempo de ejecución, costos y mano de obra. Teniendo en cuenta que en las construcciones con prefabricados se debe poner especial atención en las conexiones entre los elementos ya que estas rigen el comportamiento de una estructura.

Así mismo se pudo profundizar los conocimientos acerca del hormigón pretensado y sus ventajas frente a otros sistemas constructivos; quedando claro que gracias a su uso se pueden salvar luces más grandes con elementos más pequeños.

En lo concerniente a la modelación estructural, después del análisis efectuado se puede llegar a concluir que las losas TT de sección variable proporcionan una mayor rigidez a la estructura frente a las losas TT de sección constante, llegando de esta manera a tener mayor continuidad, con lo que se puede llegar a tener un comportamiento monolítico de la estructura. Así también las losas TT de sección variable ofrecen una resistencia mucho mayor a cortante, sobre todo por la contribución del hormigón, dicha resistencia va disminuyendo a medida que aumenta la luz de la losa (*Ilustración 70*); de la misma manera el cortante último aumenta con la misma tendencia conforme aumenta la luz del elemento (*Ilustración 71,72*).

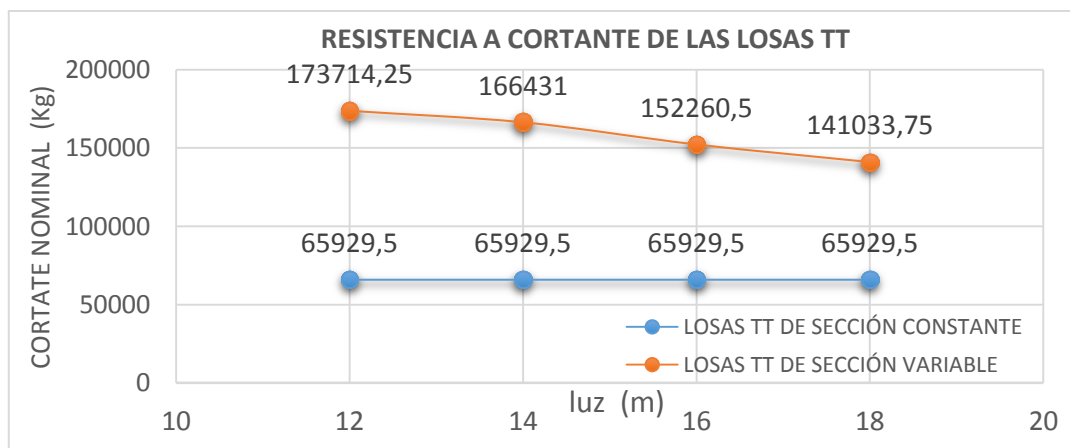


Ilustración 70: Resistencia a cortante de las losas TT

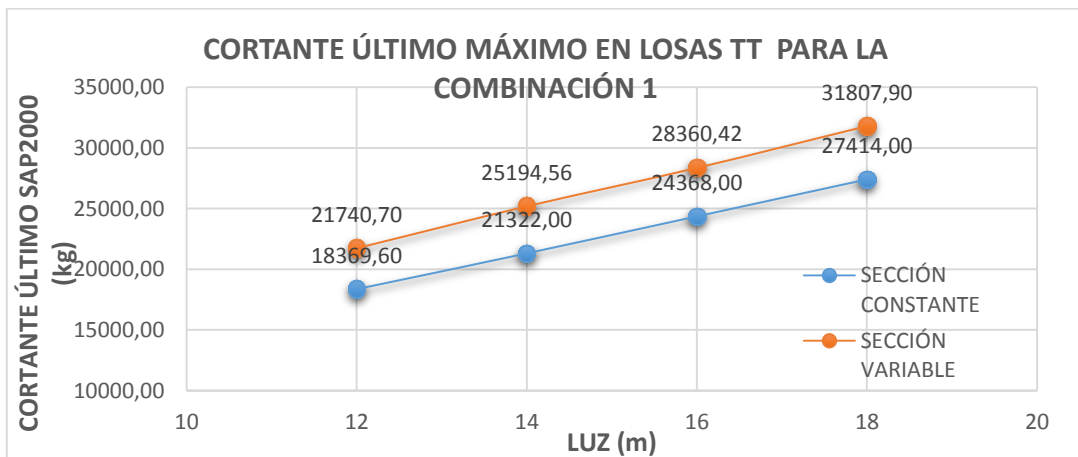


Ilustración 71: Cortante último máximo en losas TT para la combinación 1

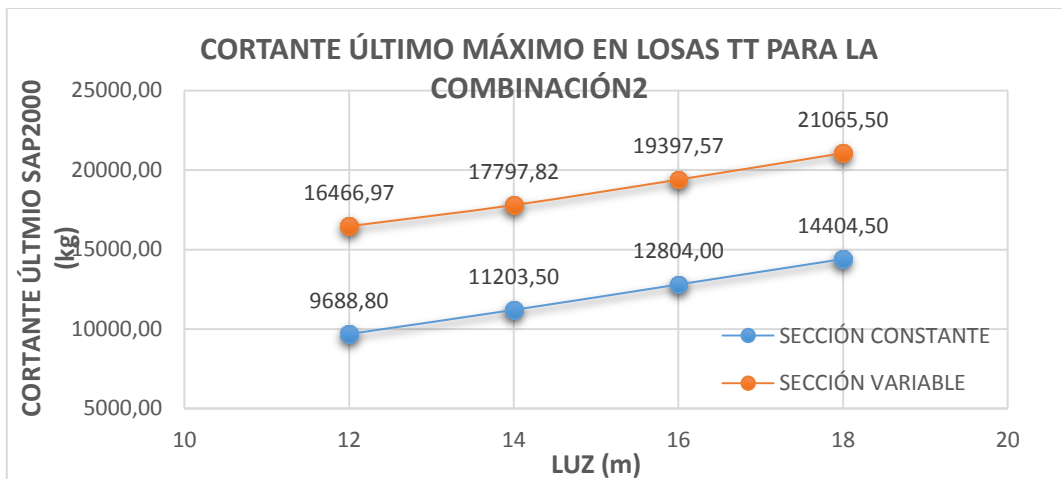


Ilustración 72: Cortante último máximo en losas TT para la combinación 2

Otra ventaja que ofrece el uso de las losas TT de sección variable es que se aminoran considerablemente los momentos positivos (Ilustración 75,81). Así también las deflexiones que se presentan por las cargas de servicio en las losas TT de sección variable son menores que en las de sección constante (Ilustración 5.4 y 5.5).

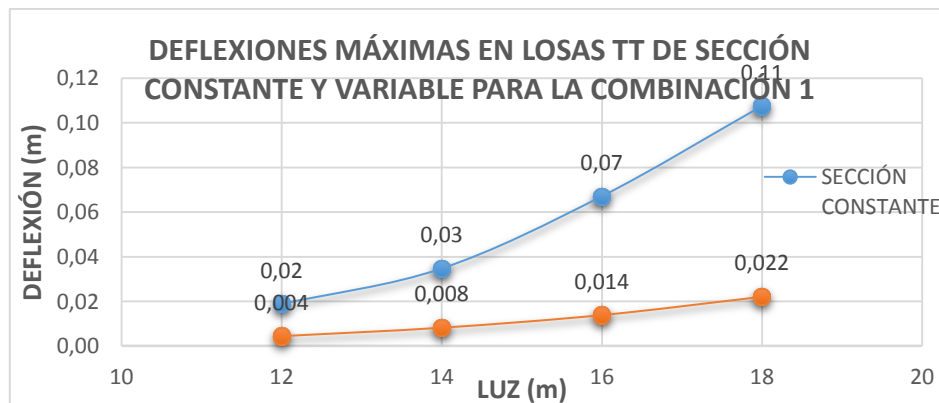


Ilustración 73: Deflexiones máximas en losas TT de sección constante y variable para la combinación 1



Ilustración 74: Deflexiones máximas en losas TT de sección constante y variable para la combinación 2

Como se puede observar en la (Ilustración 60) el momento último generado por la combinación de carga 2 en la que interviene la carga de sismo, es mayor que la combinación de carga número 1 para la losa de 12m, mientras que a medida que aumenta la luz de las losas sucede lo contrario.

Como ya se mencionó antes las losas TT de sección variable proporcionan una mayor rigidez a la estructura, es por eso que los pórticos conformados por este tipo de losas responden de mejor manera ante las cargas laterales, disminuyendo en aproximadamente un 35 % los momentos que se presentan en la base del muro y por ende los esfuerzos que actúan sobre los mismos con respecto a las losas TT de sección constante (Ilustración 78,84).

En definitiva el uso de las losas TT prefabricadas-pretensadas de sección variable son una eficiente solución constructiva para sistemas de entrepiso, donde sus ventajas se pueden maximizar sobre todo en construcciones de grandes magnitudes.

5.2 RECOMENDACIONES

Es importante conocer las características de la obra y realizar estudios de factibilidad con el fin de seleccionar el sistema constructivo más adecuado. En el caso de la construcción con elementos prefabricados se debe realizar un estudio del tipo de edificación con el fin de que esta tecnología constructiva sea sustentable.

Es importante que exista una buena comunicación entre diseñadores, proveedores y constructores con el fin de evitar inconvenientes que atrasen la ejecución de la obra y que una vez terminada esta responda efectivamente ante las solicitudes para las que fue diseñada.

Para futuras líneas de investigación se puede realizar un estudio más profundo acerca de la modelación por Elementos Finitos, ya que esta metodología tiene un vasto campo de aplicación, y en el área del análisis estructural puede ofrecer grandes ventajas frente a otros métodos.



Así mismo para una futura investigación relacionada al presente trabajo de titulación, se podría analizar hasta que proporción se podría reducir el macizado de las losas TT de sección variable. Esto se podría conseguir disminuyendo la pendiente del extremo macizo y analizar hasta qué punto resulta eficaz dicha reducción, sin comprometer el comportamiento seguro del elemento.



7. ANEXOS

7.1 DIAGRAMAS DE MOMENTO, CORTANTE, Y AXIAL

SECCIÓN CONSTANTE, $L=12$ m:

COMBINACIÓN 1:

MOMENTO (T_n -m):

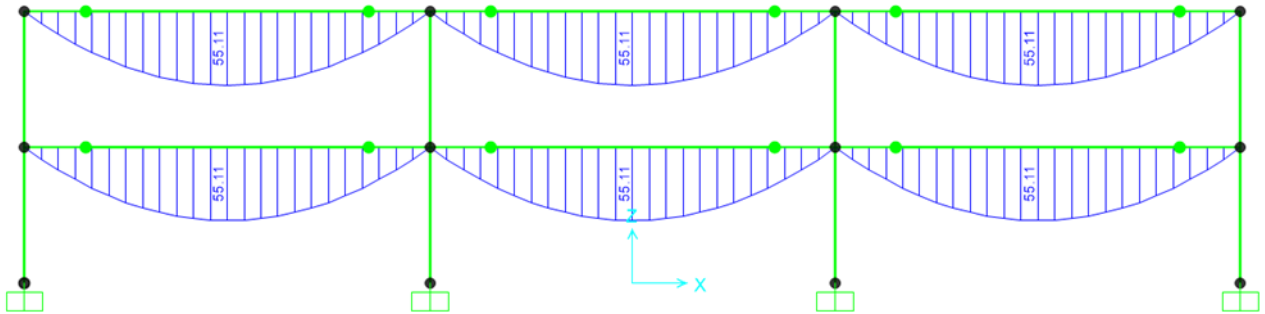


Ilustración 75: Diagrama de Momentos para la combinación de carga 1, con $L=12$ m

CORTANTE (T_n):

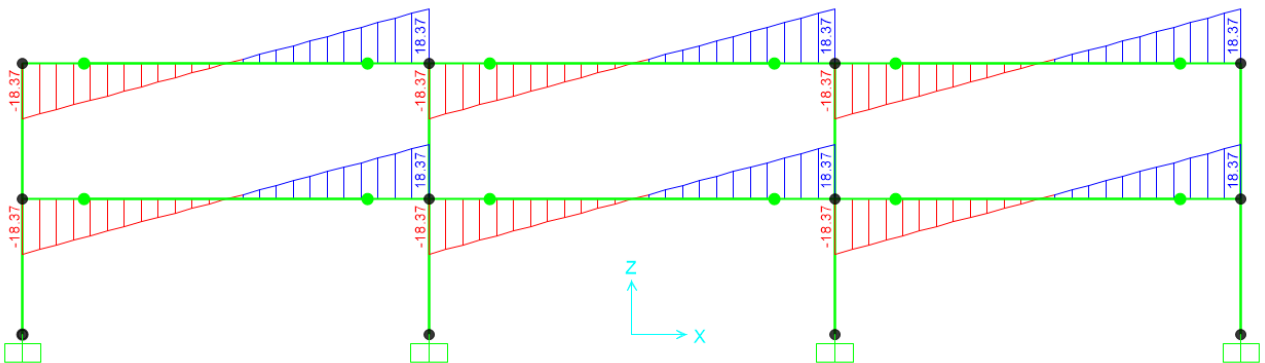


Ilustración 76: Diagrama de Fuerzas Cortantes para la combinación de carga 1, con $L=12$ m y sección Constante

AXIAL (T_n):

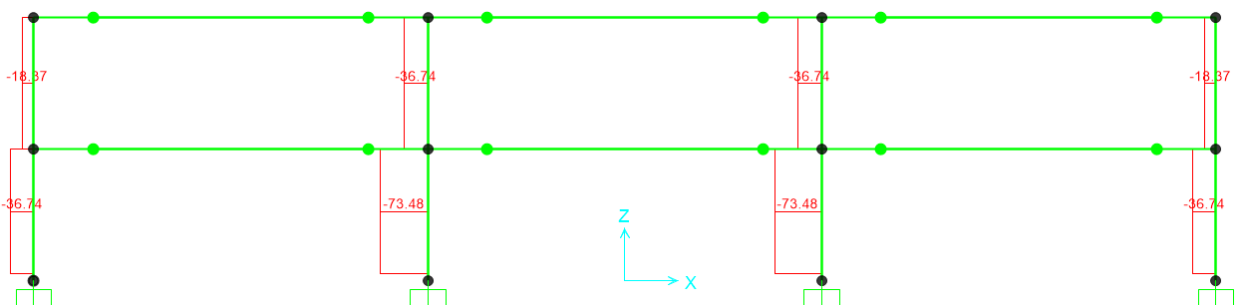


Ilustración 77: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga 1, con $L=12$ m y sección Constante



COMBINACIÓN 2:

MOMENTO (Tn-m):

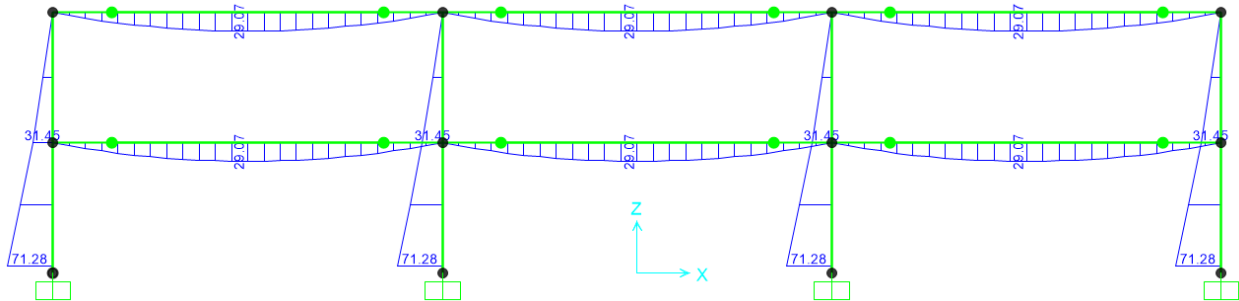


Ilustración 78: Diagrama de Momentos para la combinación de carga 2, con $L=12m$

CORTANTE (Tn):

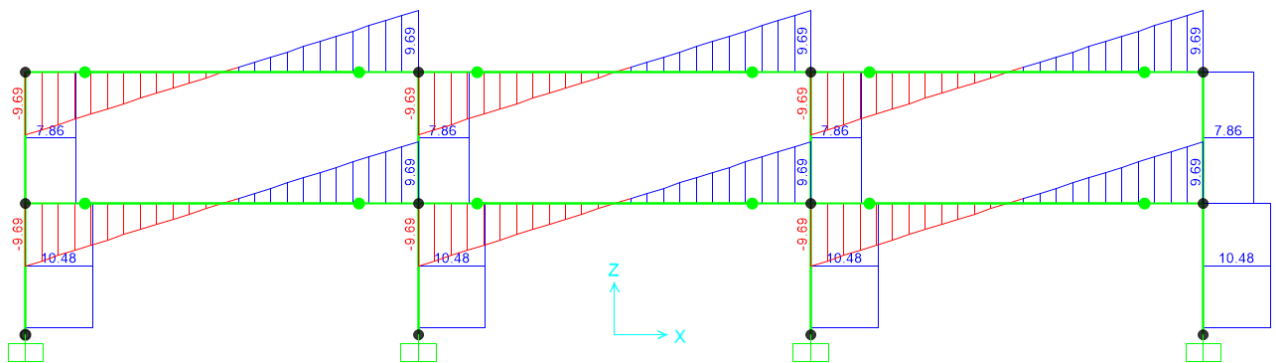


Ilustración 79: Diagrama de Fuerzas Cortantes para la combinación de carga 2, con $L=12m$ y sección Constante

AXIAL (Tn):

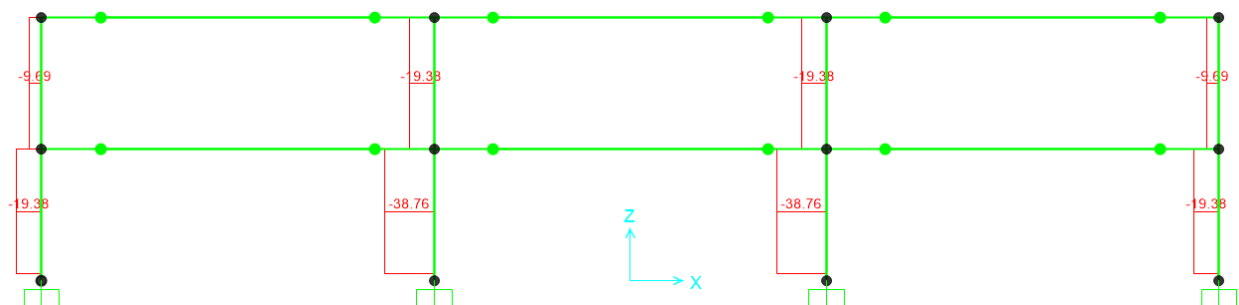


Ilustración 80: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga 2, con $L=12m$ y sección Constante



SECCIÓN VARIABLE, L=12 m:

COMBINACIÓN 1:

MOMENTO (Tn-m):

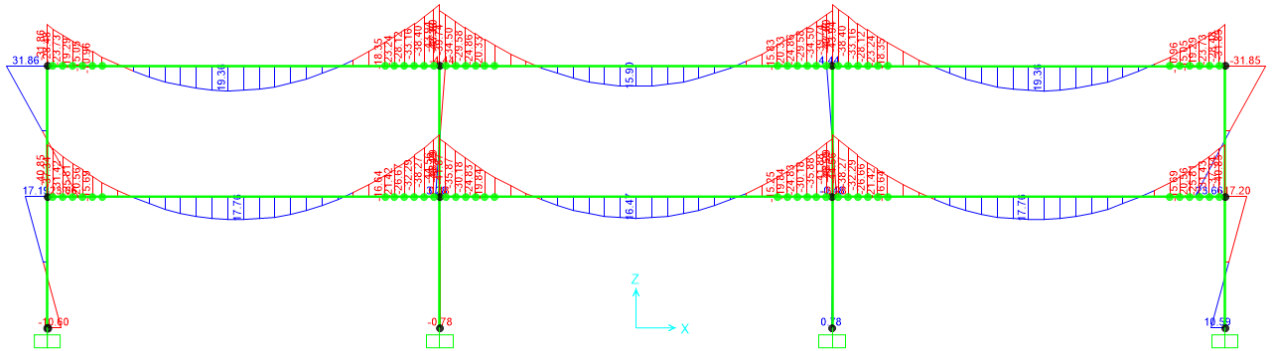


Ilustración 81: Diagrama de Momentos para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable

CORTANTE (Tn):

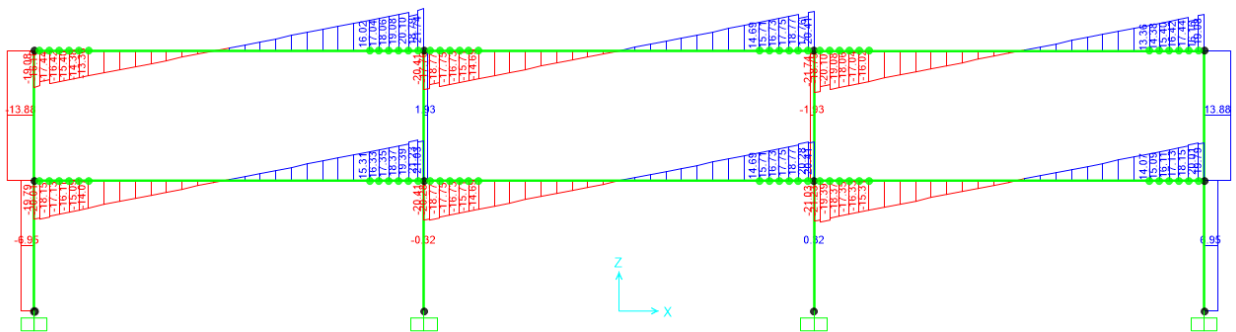


Ilustración 82: Diagrama de Fuerzas Cortantes para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable

AXIAL (Tn):

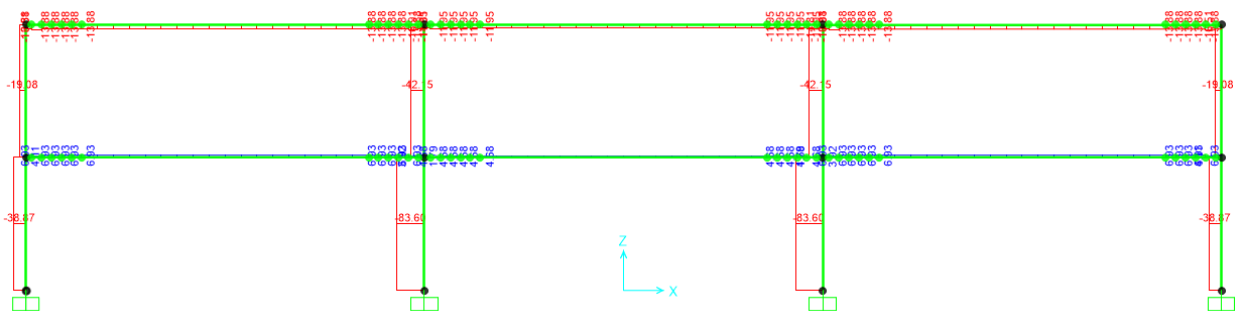


Ilustración 83: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable



COMBINACIÓN 2:

MOMENTO (Tn-m):

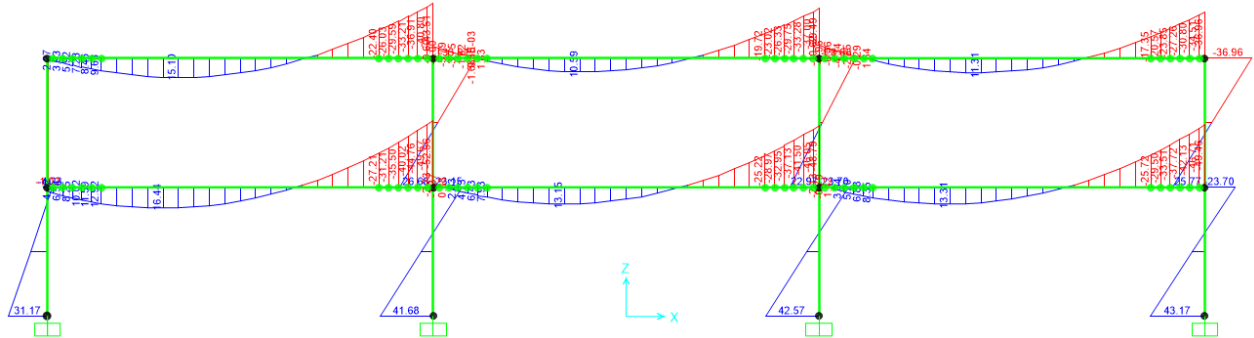


Ilustración 84: Diagrama de Momentos para la combinación de carga 2, con L=12m y sección Variable

CORTANTE (Tn):

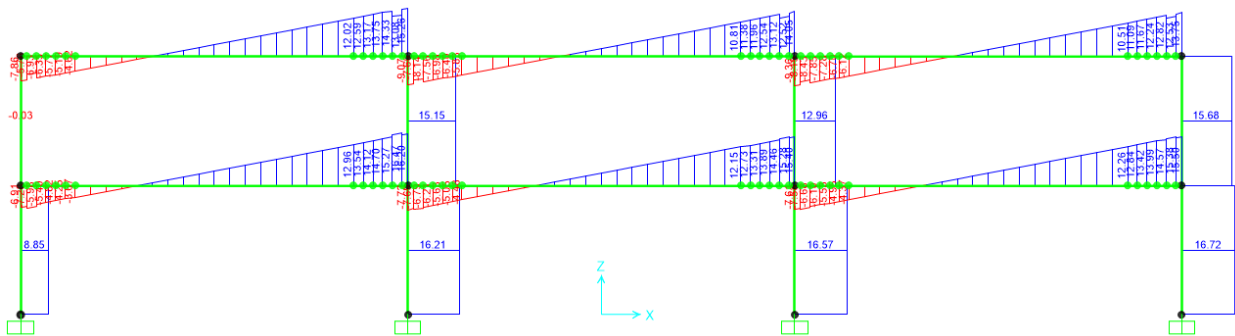


Ilustración 85: Diagrama de Fuerzas Cortantes para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable

AXIAL (Tn):

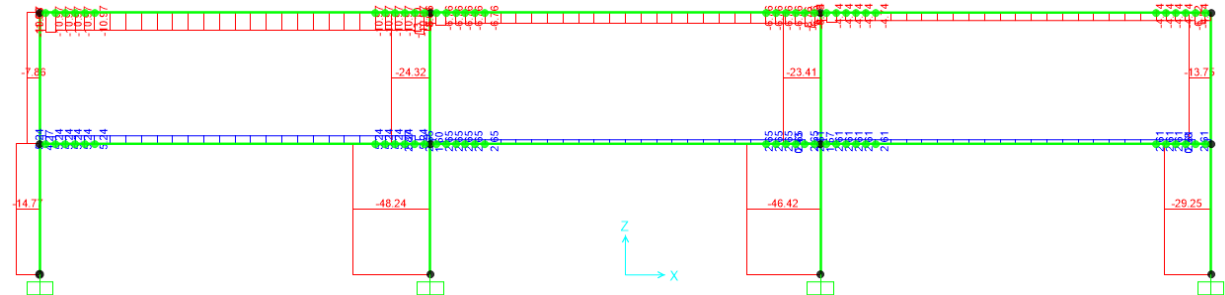


Ilustración 86: Diagrama de Fuerzas Axiales para la combinación de carga 1, con L=12m y sección Variable



8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. A. Loja Suconota, "Investigación de las principales tecnologías constructivas de edificaciones utilizadas en la ciudad de Cuenca," 2015.
- [2] F. Calderon and S. Ortega, "Diseño estructural de losas tt prefabricadas – pretensadas con extremos rígidos," 2014.
- [3] D. Arroyo, "Hormigón Pretensado," 2012.
- [4] civilgeeks.com, "Idea del Hormigón Pretensado." .
- [5] civilgeeks.com, "Ventajas y Desventajas del Hormigón Pretensado." .
- [6] www.astm.org, "Standard Specification for Concrete Aggregates," vol. C 33, 2002.
- [7] U. Docente and M. Continuos, "Hormigón Armado Y Pretensado I," p. 78, 2009.
- [8] A. Para and E. L. Código, "Hormigón Pretensado – Flexión," 2002.
- [9] R. Antonio and P. Martínez, "Nuevas cartas tecnológicas para el hormigonado in situ de las obras de construcción," vol. V, no. 1, pp. 11–17, 2014.
- [10] J. Salas and others, "Cuatro aspectos del sector construcción en Cuba," *Inf. la Construcción*, vol. 35, no. 353, pp. 5–30, 1983.
- [11] A. Aurelio, P. Anco, J. A. P. Castillo, and J. L. F. Sanchez, "Propuesta para la utilización de losas de entresijos prefabricados y su evaluación costo- tiempo," vol. 2, pp. 1–29, 2014.
- [12] E. Hernández, "Manual de Aplicación de Programa SAP2000 v14," *CSI Caribe*, 2008.
- [13] A. Nilson, *Design of concrete structures*, no. 12th Edition. 1997.
- [14] B. H. Maza, "El rol de la prefabricación y el pretensado y su potencial dentro del sector de la vivienda social.," 2013.
- [15] A. y R. G. imcyc. com. Gallegos, "Conexiones y Elementos Prefabricados," pp. 42–45, 2007.
- [16] C. E. de la Norma Ecuatoriana, "Norma Ecuatoriana de la Construcción," *Norma Ecuatoriana la construcción*, 2011.
- [17] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, *NORMA ECUATORIANA DE A CONSTRUCCIÓN - NEC 11. ECUADOR*, 2011.
- [18] A. C. I. Comité, "318 (2008)," *Requisitos del Reglam. para concreto estructural. Estados Unidos Am. Concr. Inst.*



[19] I. Software and S. Analysis, "Manual de Aplicación del Programa SAP2000."