UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

POSGRADO

MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL, MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS

Tema: Diseño de una estructura de montaje para puentes atirantados de losa de concreto sobre vigas de acero

---

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magister en Estructuras Metálicas

Modalidad del Trabajo de Titulación: Construcción, Estructuras, Vías y Transporte.

Autor: Ing., Dorian Leonardo Jácome Villacrés, MBA

Directora: Ing., Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Msc.

Ambato – Ecuador

2024

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Santiago Paul Cabrera Anda, Mg, e integrado por los señores: Ing. Alex Gustavo López Arboleda, Mg, e Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: "DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS DE LOSA DE CONCRETO SOBRE VIGAS DE ACERO" elaborado y presentado por el señor Ing. Dorian Leonardo Jácome Villacrés, MBA, para optar por el Titulo de cuarto nivel de Magíster en Ingeniería Civil con mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Santiago Paul Cabrera Anda, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal

Ing. Alex Gustavo López Arboleda, Mg
Miembro del Tribunal

Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: "**DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS DE LOSA DE CONCRETO SOBRE VIGAS DE ACERO"**, le corresponde exclusivamente al: Ing., Dorian Leonardo Jácome Villacrés, MBA, Autor bajo la Dirección de la Ing., Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Msc., Directora del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing., Dorian Leonardo Jácome Villacrés, MBA

C.C.: 1802983492

AUTOR

Ing. Peñafiel Valla Lourdes Gabriela, Msc.

C.C.: 1804420220

DIRECTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing., Dorian Leonardo Jácome Villacrés, MBA

C.C.: 1802983492

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA i

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

AGRADECIMIENTO xiii

DEDICATORIA xiv

RESUMEN EJECUTIVO xv

ABSTRACT xvi

CAPÍTULO I 1

1.1 Introducción 1

1.2 Justificación 2

1.3 Objetivos 2

1.3.1 Objetivo General 2

1.3.2 Objetivos Específicos 3

CAPITULO II 4

MARCO TEÓRICO 4

2.1 Antecedentes Investigativos 4

2.1.1 Puentes Colgantes 4

2.1.2 Puentes Atirantados: 4

2.2 Fundamentación Científica 8

2.2.1 Planteamiento Matemático 9
2.2.2 Método constructivo 10
2.2.3 Objetos y elementos 10
2.2.4 Criterios de análisis y diseño de la estructura 12
2.2.5 Cojinetes y rodamientos 13
2.2.6 Gatos hidráulicos 14
2.2.7 Barras helicoidales 15
2.2.8 Materiales 15
2.2.9 Coeficiente de rodadura 17
CAPITULO III 18
MARCO METODOLÓGICO 18
3.1 Tipo de investigación 18
3.2 Población o muestra: 18
3.3 Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender 18
3.4 Recolección de información: 18
3.5 Procesamiento de la información y análisis estadístico: 20
CAPITULO IV 21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 21
4.1 Descripción del tipo de puente para ser analizado su sistema construido 21
4.2 Geometría de la estructura de montaje 23
4.3 Cuantificación de cargas de la dovela tipo 25
4.4 Determinación de cargas 31

4.5 Prediseño 32

4.6 Modelación de la estructura en el software de cálculo y diseño de estructuras ……34

4.6.1 Asignación de secciones 35

4.6.2 Asignación de cargas a la estructura 43

4.6.3 Análisis y de la estructura 44

4.6.4 Diseño de la estructura 45

4.7 Diseño de conexiones 49

4.8 Diseño de los componentes de movimiento de la estructura 52

4.8.1 Bancada de apoyo de la estructura 53

4.8.2 Rodillo de movimiento 54

4.8.3 Equipo Hidráulico de impulsión 56

4.9 Análisis de precios unitarios para definir un presupuesto referencial de ejecución de la construcción de la estructura 60

4.10 Verificación de la hipótesis 61

CAPÍTULO V 63

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS 63

5.1 Conclusiones 63

5.2 Recomendaciones 64

5.3 Bibliografía 65

5.4 Anexos 70

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I Lista de componentes y cantidades de dovela tipo 26

TABLA II Lista de componentes y cantidades VLP 27

TABLA III Lista de componentes y cantidades VTP 27

TABLA IV Lista de componentes y cantidades VTS 28

TABLA V Lista de componentes y cantidades Cartela 28

TABLA VI Lista de componentes y cantidades Portaobenque 29

TABLA VII Cuantificación de pesos VLP 29

TABLA VIII Cuantificación de pesos VTP 30

TABLA IX Cuantificación de pesos VTS 30

TABLA X Cuantificación de pesos Cartela 30

TABLA XI Cuantificación de pesos Portaobenque 30

TABLA XII Cuantificación de pesos dovela tipo 31

TABLA XIII Cuantificación de pesos cuadrilla de trabajo 31

TABLA XIV Datos basicos de prediseño 32

TABLA XV Prediseño del cordón principal 33

TABLA XVI Prediseño del montante principal 33

TABLA XVII Prediseño del diagonal principal 34

TABLA XVIII Componentes del gato hidráulico 58

TABLA XIX Presupuesto de construcción de la estructura de montaje para puentes atirantados ... 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de cuerpo libre de la estructura 9

Figura 2. Imagen de un esquema de una estructura de montaje para un tablero de un puente atirantado 9

Figura 3. Descripción gráfica del elemento Frame 11

Figura 4. Descripción gráfica de un elemento tipo membrana 11

Figura 5. Imagen de los métodos de movimiento de elementos 13

Figura 6. Cilindros Hidráulicos 14

Figura 7. Barra helicoidal DSI 15

Figura 8. Propiedades químicas del acero ASTM A36 15

Figura 9. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 16

Figura 10. Propiedades mecánicas del Eucalipto 16

Figura 11. Tabla de Coeficiente de rodadura y coeficiente de fricción 17

Figura 12. Fotografía del Puente sobre el río Pastaza..... 21

Figura 13. Fotografía del Puente sobre el río Pastaza..... 22

Figura 14. Fotografía de las vigas de la superestructura del Puente sobre el río Pastaza 23

Figura 15. Implantación de la estructura de montaje en la superestructura del Puente 24

Figura 16. Vista lateral de la estructura y plataforma 24

Figura 17. Vista frontal de la estructura y plataforma..... 25

Figura 18. Vista en planta de la estructura y plataforma..... 25

Figura 19. Dovela tipo 26

Figura 20. Viga Longitudinal Principal VLP 27

Figura 21. Viga Transversal Principal VTP 27

Figura 22. Viga Transversal Secundaria VTS 28

Figura 23. Cartela 28

Figura 24. Portaobenque 29

Figura 25. Modelo matemático tridimensional de la geometría de la estructura 34

Figura 26. Propiedades de material ASTM A36 35

Figura 27. Visualización de asignación de elementos tipo Frame o barra de la estructura 36

Figura 28. Propiedades de la sección TR 200X150X4 (Tubo rectangular) 36

Figura 29. Propiedades de la sección TR 150X200X4R (Tubo rectangular reforzado) 37

Figura 30. Propiedades de la sección TR 150X200X4R-1 (Tubo rectangular reforzado) 37

Figura 31. Propiedades de la sección TC 70X4 (Tubo cuadrado) 38

Figura 32. Propiedades de la sección TR 150X100X3 (Tubo rectangular) 38

Figura 33. Propiedades de la sección TC 50X4 (Tubo cuadrado) 39

Figura 34. Propiedades de la sección TC 90X4 (Tubo cuadrado) 39

Figura 35. Estructura de la plataforma 40

Figura 36. Cercha transversal 1 40

Figura 37. Cercha transversal 2 40

Figura 38. Cercha transversal 3 40

Figura 39. Cercha longitudinal 1 41

Figura 40. Cercha longitudinal 2 41

Figura 41. Cercha longitudinal 3 41

Figura 42. Propiedades del material de barras de helicoidales de alta resistencia tipo DSI 42

Figura 43. Propiedades de la sección DSI 25 (Barra helicoidal) 42

Figura 44. Propiedades del material del eucalipto (Tableros de la plataforma)..... 43

Figura 45. Propiedades de la Placa de Piso (Tableros de eucalipto)..... 43

Figura 46. Asignación de carga viva Live a la plataforma..... 44

Figura 47. Fuerzas axiales por combinación de diseño (Ton)..... 45

Figura 48. Radio de trabajo de los elementos de la cercha principal de la estructura de montaje..... 45

Figura 49. Radio de trabajo de los elementos de la cercha transversal 1 de la plataforma 46

Figura 50. Radio de trabajo de los elementos de la cercha transversal 2 de la plataforma 46

Figura 51. Radio de trabajo de los elementos de la cercha transversal 3 de la plataforma 46

Figura 52. Radio de trabajo de los elementos de la cercha longitudinal 1 de la plataforma 47

Figura 53. Radio de trabajo de los elementos de la cercha longitudinal 2 de la plataforma 47

Figura 54. Radio de trabajo de los elementos de la cercha longitudinal 3 de la plataforma 48

Figura 55. Radio de trabajo de los elementos del conjunto de la estructura de montaje 48

Figura 56. Diseño de la conexión tipo 1 de la estructura principal con su estado de cargas crítica..... 49

Figura 57. Diseño de la conexión tipo 1 de la estructura principal con su estado de cargas crítica..... 50

Figura 58. Diseño de la conexión tipo 1 de la estructura principal con su estado de cargas crítica 51

Figura 59. Maqueta virtual de la estructura generada en Autodesk Inventor 51

Figura 60. Reacciones de la estructura en sus apoyos (Ton) 52

Figura 61. Análisis de esfuerzos de la bancada de apoyo 53

Figura 62. Bancada de apoyo de la estructura de montaje 54

Figura 63. Tabla de selección de rodamientos 55

Figura 64. Análisis de esfuerzos del rodillo de movimiento 56

Figura 65. Ensamble del rodillo de movimiento en la bancada de apoyo 56

Figura 66. Gato hidráulico 58

Figura 67. Conjunto armado del equipo de impulsión 59

Figura 68. Conjunto armado de la estructura de montaje 59

AGRADECIMIENTO

Mi más sentido agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y por medio de ella a todo el cuerpo docente y administrativo de la Maestría en Ingeniería Civil mención en Estructuras Metálicas cohorte 2023, por todos los conocimientos compartidos en el aula de nuestra Facultad.

Un agradecimiento especial a la Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, quien ha sido un apoyo fundamental para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi madre Fanny Margoth, quien con su ejemplo ha guiado a nuestra familia y nos ha impulsado a alcanzar los objetivos propuestos; a mis hermanos Pablo y Santiago, con quienes hemos sorteado muchas dificultades y disfrutado de las satisfacciones que brinda el esfuerzo y la perseverancia; a mi hija Gissela Estefanía, quien siempre es una inspiración en mi vida para alcanzar los objetivos propuestos.

Una dedicatoria muy especial a mi familia Villacrés, con quienes hemos compartido muchas experiencias y de quienes he aprendido muchas enseñanzas que me han permitido alcanzar los logros realizados, y a todas las personas que con su aliento y motivación han sido un complemento en el impulso para alcanzar esta anhelada meta.

Por último, dedico este trabajo de titulación a todos mis familiares y maestros ausentes, que nos observan desde el cielo y que estoy seguro les llena de orgullo el presente trabajo.

RESUMEN EJECUTIVO

Los puentes atirantados son una solución muy efectiva para salvar accidentes geográficos de grandes luces. En el Ecuador, la implementación de esta tipología de puentes es relativamente nueva y la construcción de este tipo de puentes ha dejado muchas experiencias valiosas a quienes estuvieron involucrados en la construcción de éstos. El presente trabajo describe el análisis de un método constructivo de la superestructura de un puente atirantado de losa de hormigón sobre vigas de acero y el diseño de una estructura de montaje que facilite la ejecución de esta tipología de puentes indistintamente del tipo de accidente que tenga que salvar el puente, recopilando información de experiencias documentadas en trabajos similares y extrayendo sus ideas principales que servirán de base para el diseño de la estructura de montaje propuesta en este trabajo de titulación.

Como resultado se ha obtenido el diseño de una estructura que cuenta con un diseño de sus miembros adecuado y que el miembro más solicitado trabaja en un 90% de su capacidad bajo la condición más crítica de trabajo, llegando a la conclusión de tener una estructura segura para la operación que fue diseñada y que puede ser construida en el Ecuador.

DESCRIPTORES: BANCADA, DOVELA, PORTAOBENQUE, RODAMIENTO

ABSTRACT

Cable-stayed bridges are a highly effective solution for overcoming large-span geographical features. In Ecuador, the implementation of this type of bridge is relatively new, and the construction of these bridges has provided many valuable experiences for those involved in their construction. This paper describes the analysis of a construction method for the superstructure of a cable-stayed concrete slab bridge on steel beams and the design of an assembly structure that facilitates the execution of this type of bridge regardless of the type of accident the bridge must overcome. It compiles information from documented experiences in similar projects and extracts its main ideas, which will serve as the basis for the design of the assembly structure proposed in this thesis.

The result is a structure with adequate member design, with the most stressed member operating at 90% of its capacity under the most critical operating condition. This concludes that the structure is safe for the operation for which it was designed and can be built in Ecuador.

KEYWORDS: BENCH, BEARING, *C*ABLE STAYED HOLDER, VOUSSOIR

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

El tema del presente trabajo de titulación es “Diseño de una estructura de montaje para puentes atirantados de losa de concreto sobre vigas de acero” y tiene como objeto desarrollar una metodología de construcción de puentes atirantados que pueden ser utilizados para salvar obstáculos de grandes luces. Si bien es cierto, en el mundo existen varias tipologías de puentes que permiten salvar grandes luces como los puentes colgantes, en arco, en celosía, sobre pilas continuas, etc., son los puentes atirantados una de la tipología más utilizada en los últimos tiempos debido a su versatilidad, estabilidad y estética que ofrece a los usuarios.

Para la elaboración del presente trabajo, se empleó la metodología de la observación e investigación en documentación científica de la ejecución de proyectos similares en el Ecuador y el mundo

Sin embargo, la ingeniería de puentes involucra retos muy importantes tanto en el análisis del diseño del puente como el análisis de la construcción del mismo, toda vez que la construcción de puentes en la mayoría de los casos involucra el uso de metodologías particulares de construcción según el sitio donde se plantea construirlo.

En este trabajo de titulación se analizará el sistema constructivo de una superestructura de un puente atirantado conformada por una losa de hormigón sustentada sobre vigas de acero, la misma que su ensamblaje secuencial se lo puede realizar con la ayuda de una estructura de acero.

1.2 Justificación

Los puentes, desde tiempos remotos han tenido un rol muy importante en el desarrollo de la humanidad. A través de los siglos, los puentes han ido evolucionando desde formas primitivas hasta llegar a complejos de puentes que permiten salvar obstáculos de varios kilómetros. La evolución no ha sido solamente en la longitud del obstáculo a salvar sino también en su tipología, brindando múltiples alternativas al sitio donde se los implementaría. Una de la tipología de puentes más moderna son los puentes atirantados, mismos que tienen su origen con la construcción del puente Strömsund, localizado en Suecia e inaugurado en 1955.[1]

En el Ecuador, el primer puente vehicular atirantado fue construido en la vía Puyo – Macas, inaugurado en el 2007 y desde ese año se han implementado varios puentes vehiculares de similar tipología.

La presente investigación se realiza para brindar una alternativa para la construcción de puentes atirantados en el Ecuador, de tal forma que en el país se pueda prescindir de la importación de estructuras similares, con el fin de reducir costos de construcción de esta tipología de puentes y poder satisfacer las necesidades de comunicación entre poblaciones, reduciendo así los tiempos de viaje entre destinos de la vía donde se implementaría el puente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una estructura de montaje para puentes atirantados de losa de hormigón sobre vigas de acero, utilizando un software de diseño estructural para obtener seguridad de la estructura sin elevar su costo de construcción.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las secciones geométricas de los miembros de la estructura y sus conexiones para analizar su comportamiento estructural
- Diseñar los componentes de movimiento de la estructura para trasladar la estructura de montaje a la siguiente secuencia.
- Realizar un análisis de precios unitarios para definir un presupuesto referencial de ejecución de la construcción de la estructura.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

El montaje de un puente, cualquiera sea su tipología, siempre ha representado in reto para la humanidad, debido a que los obstáculos que salvan los puentes casi siempre son muy difíciles de superarlos.

Debido a ello, el hombre se ha ingeniado más de una forma para realizar la construcción de los puentes, y de forma puntual la superestructura. Hoy en día, los puentes de grandes luces representan una solución muy efectiva para la movilidad en el mundo independiente de su tipología, de tal forma que para cada una de ella se subdivide en varias alternativas de montaje de su superestructura, según se explica a continuación:

2.1.1 Puentes Colgantes

La superestructura de los puentes colgantes puede estar conformados por tableros de hormigón, acero o losa sobre vigas de acero y dependiendo del tipo de tablero también dependerá el tipo de sistema de montaje a utilizarse. Sin embargo, un método muy común para realizar el montaje de la superestructura de un puente colgante es la utilización de grúas sustentadas sobre los cables principales del puente o sobre cables adicionales colocados para el proceso de montaje, como lo muestra [2]

2.1.2 Puentes Atirantados:

La superestructura de los puentes atirantados puede estar conformadas según el material y la geometría que la conforma. Así mismo, la ingeniería para el

montaje de la superestructura varía dependiendo del tipo de sección de la superestructura, como se explica a continuación:

En un estudio desarrollado acerca del "Desarrollo reciente y desafíos de los puentes atirantados ferroviarios de gran luz en China" [3] se puede observar que, aunque la estructura del tablero del puente es de acero, éstas pueden estar conformadas por celosías, vigas o secciones encajonadas aerodinámicas y muestra también una forma de montaje de las dovelas que conforman la superestructura

El artículo científico realizado por V.N. HEGGADE [4] muestra también secciones de superestructura típicas utilizadas en puentes atirantados, la misma que varía dependiendo del material que vaya a ser construida la misma.

El montaje de la superestructura de los puentes atirantados varía del tipo de material del que está constituida la superestructura, un tipo de montaje se puede observar el que se utiliza para la construcción de una dovela de hormigón, en donde se utiliza un tipo diferente de estructura de lanzamiento como la mostrada en [5]. Desde luego, el comportamiento estructural es muy distinto al de una dovela conformada en taller y no hormigonada en sitio.

Otro método para realizar el montaje de dovelas para puentes atirantados es mediante la utilización de grúas flotantes que pueden circular sobre ríos navegables como lo describen Min-Woo Lee, Ji-Hyun Lee, Yeon-Seung Lee, Hyun-Jin Park y Tak-Kee Lee [6].

Yingliang Wang, Zongyu Gao, Zonghui Chen, Wenyi Zhao, Jianhua Shi y Mujie Liao [7] describen un tipo de dovela conformada por hormigón con vigas secundarias de acero. Para el montaje de este tipo de dovela, se empleó una estructura muy distinta a las anteriormente citadas, puesto que también su tablero es de una tipología muy particular.

También se ha logrado la posibilidad de combinar la tipología de los puentes atirantados con los colgantes de la forma que explican Wang Xiaoming, Fei Pengbo, Dong You y Wang Chengshu [8] . El objetivo de esa combinación de tipología de puentes es lograr una construcción de un puente de gran luz de una forma más rápida sin interrumpir la circulación entre el espacio de las 2 torres. Para la construcción de este tipo de puente se puede observar que se utilizó una estructura tipo grúa que colocó secuencialmente las dovelas centrales de la superestructura.

En el estudio realizado por Wang X, Li Y y Song W [9] muestra un Puente combinado colgante – atirantado en donde el cable principal de donde se sustentan las dovelas colgantes, están conectadas entre las dos torres que sustentan a las dovelas centrales atirantadas y las laterales también atirantadas.

Se puede observar, que otro tipo de combinación de puentes es la que se puede realizar entre un puente en arco y un puente atirantado, como el puente Xiangfeng River Bridge [10], ubicado en China, el mismo que la superestructura está sustentada por tirantes que se conectan desde la superestructura del puente hacia una torre inclinada y otros tirantes conectan a un arco.

Otro tipo de Puente combinado son los extradosados, los mismos que son una combinación entre un puente cajón de volados sucesivos y un atirantado [11]. Los tirantes de un puente extradosado permiten obtener secciones de tablero más esbeltas que un puente de volados sucesivos. Para la construcción de este tipo de puentes también es necesario el uso de una estructura que permita colar el hormigón en sitio.

Xiangkun Yu [12] muestra con una mejor claridad un esquema de una estructura de encofrado para la construcción de esta puentes en volados sucesivos y que también puede ser utilizada para la construcción de puentes extradosados.

Markovski G, Docevska M y Markelj V [13] muestran en su artículo las fotografías de una estructura de encofrado empleado en la construcción de un puente en volados sucesivos un poco similar al mostrado en [12] pero que a su vez cumplen un mismo objetivo.

Se pueden construir múltiples segmentos de puentes para salvar grandes distancias, un ejemplo de ello se puede observar en la construcción del puente que atraviesa el Río Ganga [14], en donde se muestra una secuencia de construcción de un puente extradosado con la ayuda de grúas de levantamiento de dovelas.

Un método muy empleado en la construcción de puentes atirantados que salvan ríos navegables, es el que se realiza con el empleo de estructuras grúa, que levantan a una dovela que es transportada por el río en una barcaza hasta el sitio donde recibirá la estructura para luego levantarla y colocarla en su sitio definitivo, como lo describen Yu X y Chen [15].

En Croacia, gracias a la existencia de ríos navegables también se han podido utilizar estructuras de montaje con grúa para realizar el izaje de dovelas en puentes atirantados, como se describe en [16].

Existen evidencias de otra metodología de montaje de dovelas para puentes atirantados, como son el uso de teleféricos que transportan a una dovela desde su lugar de acopio hasta su posición final en el puente, de manera como lo ilustra [17]

Aunque los puentes en arco son de tipología diferente a los atirantados, su construcción se la realiza mediante el uso de tirantes provisionales y estructuras de montaje para ensamblar cada una de las secciones constitutivas del arco, como lo ilustra [18] en la construcción del Río Tajo.

Otro método empleado para hacer posible la construcción de un puente atirantado es el que utiliza una estructura de montaje que transporta una dovela completa o semi completa desde la zona de acopio de las dovelas en obra hacia su sitio definitivo de ensamble, como lo muestra el esquema de la secuencia de construcción del puente atirantado en Duisburg [19].

Es preciso indicar que para la construcción de puentes no existe una fórmula precisa para realizar la construcción de estos, y es por ello que en el presente trabajo se realizará el estudio de una estructura de montaje para la construcción de puentes atirantados de superestructura conformada por losa de hormigón sobre vigas de acero. El análisis estructural se lo realizará utilizando un software de análisis estructural para el diseño de los miembros de la estructura, de forma similar a la realizada en [20], así como también el análisis de las conexiones de la estructura se la realizará con un software especializado para el efecto de forma similar a [21]. La elaboración de la maqueta virtual, dispositivos de movimiento y simulaciones de ensamblajes se realizará utilizando el software Autodesk Inventor tomando ciertos criterios descritos en [22].

2.2 Fundamentación Científica

Como se mencionó en el Capítulo I, en el Ecuador, hasta la presente fecha existen varios puentes atirantados vehiculares, específicamente 5 puentes de los cuales tres puentes son de la tipología de losa de hormigón sobre vigas metálicas. Estos puentes son: El puente sobre el río Pastaza ubicado en la vía Puyo - Macas, el puente sobre el río Napo ubicado en el centro de la ciudad de el Coca y el puente sobre el río Aguarico ubicado en la ciudad de Nueva Loja.

2.2.1 Planteamiento Matemático

El planteamiento matemático de comportamiento de la estructura se propone como una viga que trabaja en voladizo de acuerdo a lo planteado en el diagrama de cuerpo libre ilustrado en la Figura 1, en donde una parte de la estructura se encuentra anclada a la superestructura del puente ya instalada y la otra parte que se encuentra en voladizo soportará las cargas de los elementos de la nueva dovela a instalarse, así como también las cargas estimadas del personal de montaje y sus equipos de instalación y montaje.

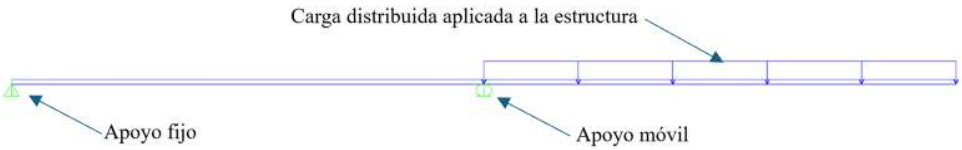


Figura 1. Diagrama de cuerpo libre de la estructura

En la Figura 2, se muestra una ilustración que se puede tomar como ejemplo del diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 1 y que describe en parte la secuencia constructiva de la superestructura del puente propuesto para el presente trabajo.

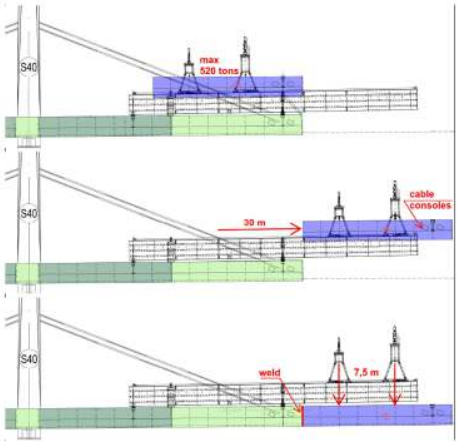


Figura 2. Esquema de una estructura de montaje para un tablero de un puente atirantado [19].

2.2.2 Método constructivo

El método constructivo propuesto para el presente trabajo para el montaje de la superestructura es mediante la utilización de una estructura que permita el ensamble de cada uno de los elementos constitutivos de la dovela en el sitio mismo de instalación de la dovela, es decir, que no se transportará una dovela completa ensamblada en taller sino que cada uno de los componentes serán transportados hacia una plataforma de trabajo que estará soportada por la estructura principal de montaje. La plataforma de trabajo temporalmente se convertirá en un taller de ensamblaje de la dovela que se instalará en la superestructura, una vez terminado el ensamblaje de la dovela, se realizará la instalación de los obenques o tirantes que sustentará la dovela recién instalada para realizar el movimiento de la estructura de montaje hacia el sitio que permitirá la instalación de la dovela siguiente.

Este proceso se realizará en ambos márgenes del puente, convergiendo en la dovela central, donde las dos estructuras de montaje permitirán la instalación de la dovela central o también llamada la dovela de cierre.

2.2.3 Objetos y elementos

La modelación tridimensional en el programa de cálculo se la realizará con elementos lineales que se los denominará como Frame y bidimensionales como membranas. En concordancia con [23], en el análisis estructural, el elemento Frame o barra es un componente esencial que se define por seis movimientos posibles de libertad en cada conexión: tres de desplazamiento y tres de giro en sus extremos (U1, U2, U3, R1, R2, R3), como lo muestra la Figura 3.

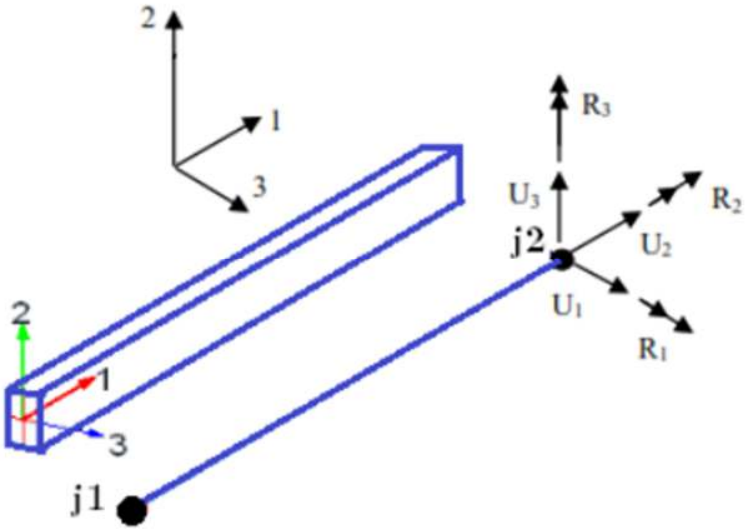


Figura 3. Descripción gráfica del elemento Frame [23]

Así mismo, para la modelación de estructuras, un elemento finito bidimensional tipo membrana común, con tres o cuatro nodos, se caracteriza por tener tres posibles movimientos en cada nodo: dos de desplazamiento (U1 y U2) y uno de giro. La capacidad de este elemento para resistir la deformación, es decir, su rigidez, está definida por su extensión superficial y las características elásticas del material que lo constituye [23], de la forma como se visualiza en la Figura 4.

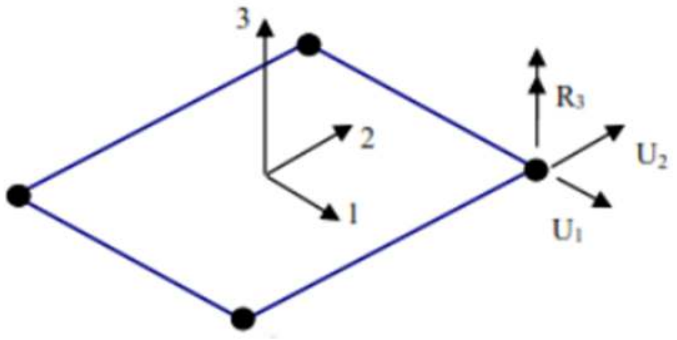


Figura 4. Descripción gráfica de un elemento tipo membrana [23].

2.2.4 Criterios de análisis y diseño de la estructura

El análisis de la estructura se lo realiza con la ayuda del software de cálculo y el diseño de los miembros de la estructura se realizará en concordancia con lo estipulado por la norma AISC 360-16 aplicado a pórticos ordinarios a momento (OMF), puesto que se considera que a este tipo de estructura no les afectarán fuerzas sísmicas debido a las siguientes razones:

- La probabilidad de ocurrencia de un sismo durante el proceso constructivo es muy poco probable debido al tiempo de duración del proceso constructivo.
- La estructura no estará en ningún momento en contacto con el suelo durante su operación.
- La estructura, durante su operación estará apoyada sobre bancadas de madera que funcionarían como aisladores sísmicos de la estructura de montaje y a la vez aislarán a la superestructura del puente de vibraciones transmitidas por la estructura de montaje durante su operación.

Por otra parte, es necesario indicar que la estructura de montaje estará sometida a impacto debido a las vibraciones que se producen por la naturaleza del trabajo del montaje de la superestructura. Debido a ello, para el diseño de la estructura se asume que tendrá la capacidad de soportar la carga Live (una dovela típica apoyada sobre la plataforma de trabajo más su carga adicional de personal y equipo de montaje) multiplicada por 1.6 para asumir las cargas generadas por impacto y vibraciones además de un 20% adicional del peso propio de los elementos constitutivos de la estructura para simular el peso de dispositivos adicionales que pudieran existir en la estructura.

Adicionalmente, la condición mencionada en el párrafo anterior será la más desfavorable durante el proceso constructivo y que en un evento fortuito o de

fuerza mayor se apoyaría todos los elementos de la dovela tipo sobre la plataforma puesto que la propuesta del proceso de instalación de la dovela es montar uno a uno sus elementos constitutivos, instalando las vigas laterales principales directamente a la superestructura ya instalada, luego instalar la viga principal transversal y posterior a ello las vigas transversales secundarias, ménsulas y portaobenques. En esta etapa del montaje de la dovela, a menos el 40% del peso total de la dovela estará sustentada por la superestructura del puente ya instalada y el 60% soportará la carga la estructura de montaje, reduciendo así la carga aplicada a la misma y multiplicando el factor de seguridad de la estructura.

2.2.5 Cojinetes y rodamientos

Los rodamientos son dispositivos que soportan y guían con mínima fricción elementos giratorios o de máquinas o estructuras según los requerimientos del diseño requerido [24]. En el diseño de los dispositivos de movimiento o avance de la estructura es imperativo el uso de rodamientos o cojinetes que permitan trasladar grandes pesos con el menor esfuerzo y con la mayor seguridad posible. La Figura 5 muestra un esquema donde se puede ver la fuerza utilizada para el movimiento de elementos según su condición de rodadura.

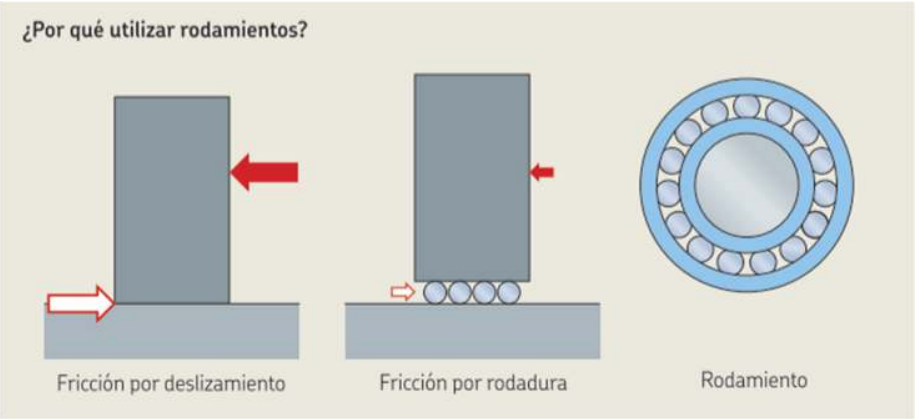


Figura 5. Imagen de los métodos de movimiento de elementos [25]

2.2.6 Gatos hidráulicos

Los gatos hidráulicos son dispositivos que permiten elevar o movilizar grandes cargas con pequeños esfuerzos gracias a la presurización de fluidos [26]. En el desarrollo del diseño de la estructura es necesario considerar que la estructura tendrá un peso considerable que deberá ser movido en conjunto para ensamblar la siguiente etapa de la superestructura y es ahí donde los gatos hidráulicos tienen gran relevancia para cumplir este objetivo. La Figura 6 muestra una fotografía de un tipo de gatos hidráulicos.



Figura 6. Cilindros Hidráulicos [27]

2.2.7 Barras helicoidales

Las barras helicoidales como las que se muestra en la Figura 7, permiten una excelente conexión entre elementos gracias a su alta resistencia y la existencia de una rosca helicoidal a lo largo de toda la barra por donde se puede ajustar una tuerca diseñada para el efecto [28].



Figura 7. Barra helicoidal DSI [28]

2.2.8 Materiales

Los elementos de la estructura objeto del presente trabajo serán diseñados en acero y específicamente en acero ASTM A36 gracias a que en el Ecuador es uno de los aceros más comunes en el mercado y por la gran variedad de perfiles que con éste material se fabrican. Las características químicas y mecánicas del mencionado material se las visualiza en las Figuras 8 y 9 a continuación:

NOTE 1— Where "..." appears in this table there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes[A]	Plates[B]					Bars			
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2 ½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

[A] Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].
[B] For each reduction of 0.01 % below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 % manganese above the specified maximum will be permitted up to the maximum of 1.35 %.

Figura 8. Propiedades químicas del acero ASTM A36 [26]

Plates, Shapes,[B] and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250][C]
Plates and Bars[D,E]:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21[B]

[A] See Specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

[B] For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 %, applies.

[C] Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

[D] Elongation not required to be determined for floor plate.

[E] For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

Figura 9. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [26]

Para la superficie de tráfico de la plataforma también se ha seleccionado la madera eucalipto gracias a su alta resistencia [29], aislamiento eléctrico y por evitar el deslizamiento que ocurriría si se mantuviese en contacto acero con acero.

Densidad (g/cm3)		0.55
Contracción	Radial (%)	Tangencial(%)
	5	11
Flexión	Esfuerzo medio (kg/cm2)	873,06
	Módulo de elasticidad medio (kg/cm2)	13344.89
	Esfuerzo mínimo (kg/cm2)	633.77
	Módulo de elasticidad mínimo (kg/cm2)	93510.04

Figura 10. Propiedades mecánicas del Eucalipto [28]

2.2.9 Coeficiente de rodadura

Debido a que la estructura debe desplazarse hacia una nueva etapa de construcción de la superestructura del puente, es necesario determinar la fuerza necesaria para mover es peso. Para lograr ese objetivo se propone deslizar la estructura sobre rodillos metálicos, por lo que es necesario determinar el coeficiente de rodadura utilizando la ley de Coulomb de rodadura [30] en donde se establece la siguiente ecuación:

$$F = Crr * N \text{ [30]} \qquad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

F= Fuerza horizontal

Crr= Coeficiente de rodadura

N= Fuerza normal que en este caso equivaldría al peso total de la estructura

C_{rr}	μ_r	Descripción
0,0010 *a* 0,0024	0.5 mm	Ruedas de ferrocarril de acero sobre rieles de acero
0.0010 *a* 0.0015	0,1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0,0025		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
0,005		Ríeles estándar de tranvía
0,0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares
0,010 *a* 0,015		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0,030 *a* 0,035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0,3		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre arena

Figura 11. Tabla de Coeficiente de rodadura y coeficiente de fricción [29]

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Descriptiva: La presente investigación es descriptiva debido a que se caracteriza por la influencia de la versatilidad de la estructura de montaje en la construcción de un puente atirantado conformado por superestructura de losa de hormigón sobre vigas de acero.

Exploratoria: Los resultados de la presente investigación proporcionan una guía para el diseño de estructuras de apoyo para la construcción de puentes atirantados conformados por superestructura de vigas de acero.

3.2 Población o muestra:

En la presente investigación no se aplica una población de estudio puesto que el diseño de la estructura de montaje se trata de un tema específico, por lo que no se realizan cálculos probabilísticos ni estadísticos

3.3 Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

¿El diseño de la estructura planteada, permitirá realizar un montaje seguro de un puente atirantado de losa de hormigón sobre vigas de acero?

3.4 Recolección de información:

Se dividió la metodología en 3 fases según los objetivos específicos**.**

- **Objetivo 1: Determinar las secciones geométricas de los miembros de la estructura y sus conexiones para analizar su comportamiento estructural**

Medición en campo de los elementos de la dovela tipo del puente seleccionado, se cuantifica pesos de los elementos, se determina la geometría de la estructura de montaje, realización de un prediseño de los elementos más críticos de la estructura de montaje, elaboración de un modelo matemático en un software especializado, diseño de y verificación del radio de trabajo de los elementos de la estructura de montaje y finalmente el chequeo de las conexiones de la estructura.

- **Objetivo 2: Diseñar los componentes de movimiento de la estructura para trasladar la estructura de montaje a la siguiente secuencia.**

Con la información obtenida del análisis de la estructura, se procede a diseñar el sistema de deslizamiento e impulsión de la estructura para situarla en la nueva fase de construcción de la superestructura del puente.

- **Objetivo 3: Realizar un análisis de precios unitarios para definir un presupuesto referencial de ejecución de la construcción de la estructura.**

Diseñados todos los miembros de la estructura y sus dispositivos de movimiento, se procede a definir todos los rubros que intervienen en la fabricación y montaje de la estructura para posteriormente realizar un análisis de costos de los rubros y determinar de esa manera un presupuesto total.

Adicionalmente, la recolección de la información se realizará mediante búsqueda de información en bibliografía de la construcción de puentes atirantados construidos con anterioridad, simulación realizada en programas de cálculo especializado para el efecto y manuales de diseño de dispositivos.

3.5 Procesamiento de la información y análisis estadístico:

Se realizó análisis previos como la cuantificación de cargas y el predimensionamiento de la estructura, para posteriormente realizar el análisis con la ayuda de modelos matemáticos realizados en un software de análisis estructural, análisis de conexiones de estructuras de acero y hojas electrónicas para el análisis de precios unitarios para determinar un presupuesto referencial de la estructura.

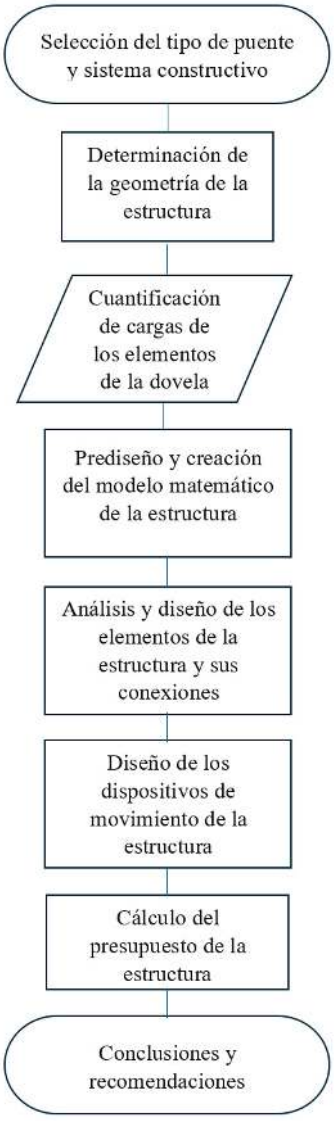


Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de diseño de la estructura

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del tipo de puente para ser analizado su sistema construido

Para el presente estudio, se ha seleccionado el estudio de la superestructura del puente atirantado sobre el río Pastaza puesto que está ubicado geográficamente más cerca de Ambato que los otros puentes mencionados y presenta una mejor accesibilidad a la inspección de la superestructura.

El puente sobre el río Pastaza se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas WGS84 18S 185793.75 E, 9787390.69 S, en la vía Puyo – Macas. La longitud total del puente es de 331m divididos en 2 tramos laterales de 84 m y un tramo central de 163 m. La superestructura se encuentra sustentada por tirantes que se conectan a dos torres de hormigón que se encuentra encamisada con acero en la parte superior. Las Figuras 12 y 13 muestran de manera gráfica al puente referido:



Figura 13. Fotografía del Puente sobre el río Pastaza



Figura 14. Fotografía del Puente sobre el río Pastaza

La superestructura del puente sobre el río Pastaza se encuentra dividida en 8 dovelas laterales de 10.50 m cada una, 2 dovelas de arranque ubicadas en el eje de las torres, 14 dovelas centrales de 10.50 m cada una y una dovela de cierre de 16m ubicada en el centro de la superestructura. Debido a las características de la topografía del terreno donde se encuentra implantado el puente, en el presente estudio se asumirá un sistema constructivo de la superestructura del puente que podría o no coincidir con la metodología empleada por el constructor del puente, y que consiste en el montaje de las dovelas laterales sobre estructuras de apoyo que se sustentan directamente del suelo, el montaje de las dovelas centrales que se lo ejecutaría con dos de las estructuras de montaje objeto del presente estudio, una en cada margen del río que, a medida del avance del montaje de las dovelas, convergerán en la dovela de cierre en el centro de la superestructura y el montaje de la dovela de cierre en el que intervendrían las 2 estructuras de montaje de las dovelas centrales.

Las dovelas constitutivas del puente están conformadas por dos vigas principales longitudinales, una viga principal transversal y dos vigas transversales secundarias como lo ilustra la Figura 14. Las conexiones entre elementos de las dovelas están realizadas mediante conexiones apernadas.



Figura 15. Fotografía de las vigas de la superestructura del Puente sobre el río Pastaza

4.2 Geometría de la estructura de montaje

Se ha predeterminado la altura de la estructura en 2.80 metros y una longitud total de 33 metros. Las dimensiones propuestas para la estructura, permite acondicionarse y anclarse de manera segura a las dovelas instaladas y sujetar convenientemente en voladizo la plataforma de trabajo. La separación de los montantes deberá ser semejante a la altura de la estructura, con el fin de obtener elementos diagonales que su ángulo de colocación sea similar a 45º o cercano a este valor.

La plataforma de trabajo se ha dimensionado de tal forma que permita la colocación de una dovela típica completa y un área de trabajo del personal de montaje segura alrededor de la dovela en instalación, de tal forma que puedan ser manipulados todos los elementos constitutivos de la dovela tipo. Se establece unas dimensiones de la plataforma de 14 metros de largo y 14,45 metros de ancho, dando como resultado un área de 202.3 metros cuadrados.

La Figura 15 muestra gráficamente lo expuesto acerca de las dimensiones de las cerchas y la plataforma de trabajo.

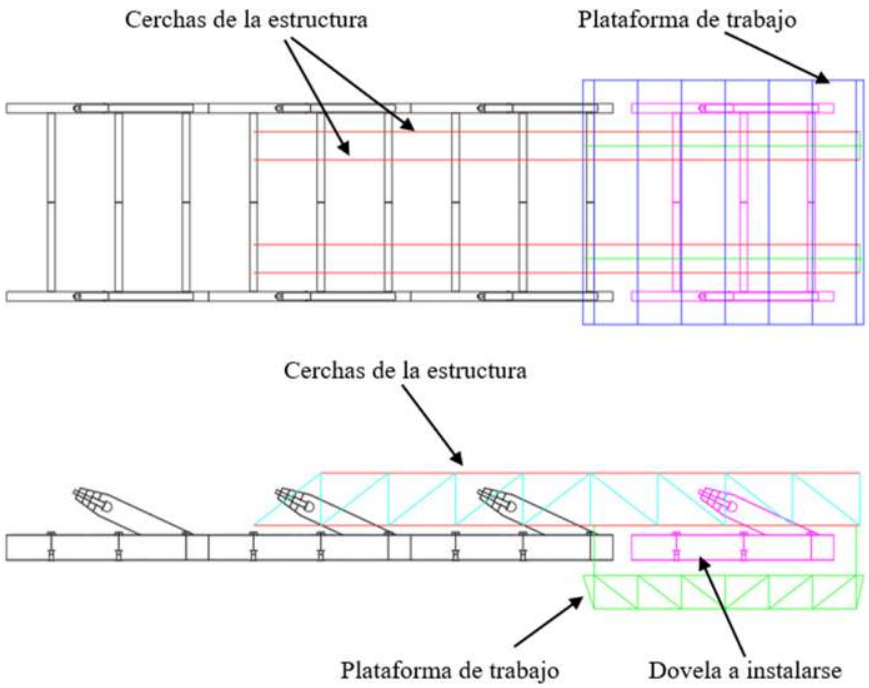


Figura 16. Implantación de la estructura de montaje en la superestructura del Puente

Basados en la Figura 15, se define la geometría de la estructura con las medidas que se detallan gráficamente en las Figuras 16, 17 y 18 a continuación:

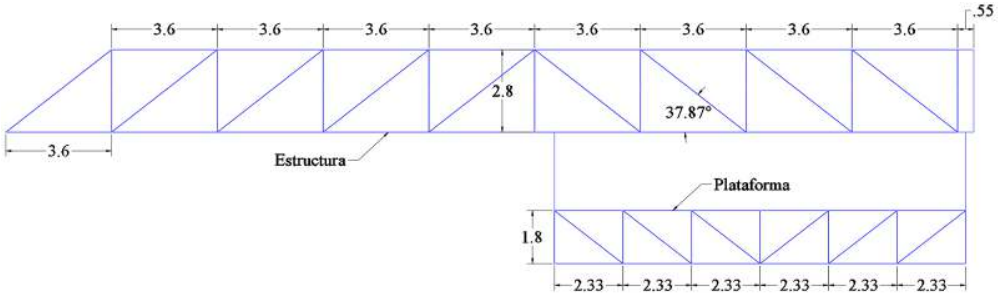


Figura 17. Vista lateral de la estructura y plataforma

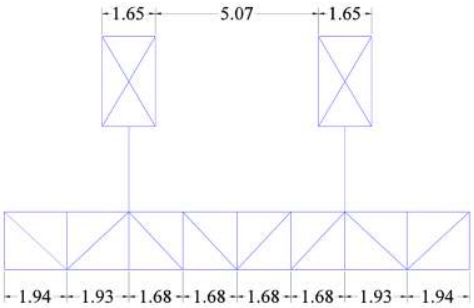


Figura 18. Vista frontal de la estructura y plataforma

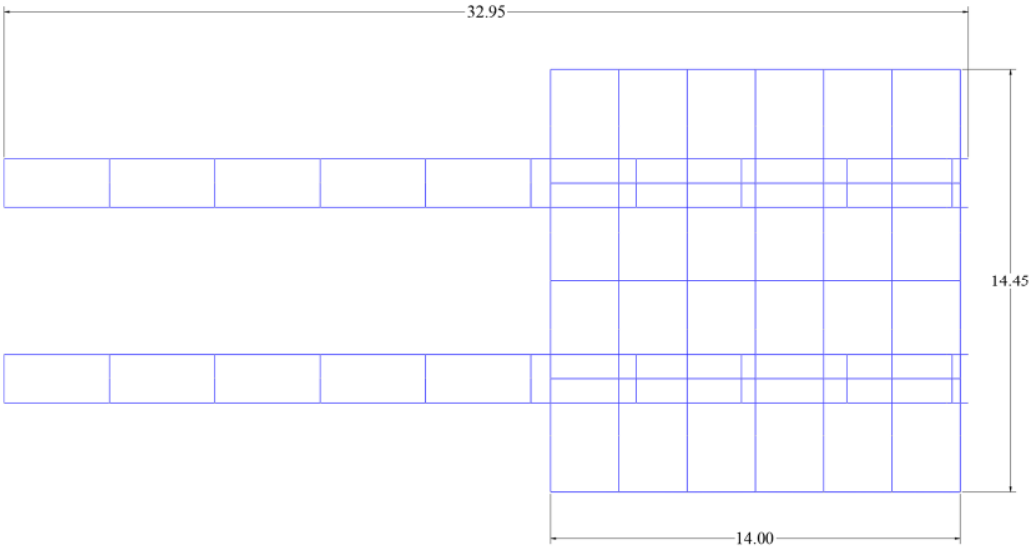


Figura 19. Vista en planta de la estructura y plataforma

4.3 Cuantificación de cargas de la dovela tipo

Para realizar la cuantificación de cargas, se ha realizado una modelación tridimensional de todos los elementos constitutivos de la dovela típica, incluyendo los portaobenques más pesados para considerar la carga más crítica de la dovela a la que se denominará dovela tipo. Con la ayuda del software Autodesk Inventor, se realizó la modelación antes mencionada considerando todas las medidas tomadas

en el sitio del puente. El resultado del trabajo realizado para la cuantificación de cargas se lo muestra a continuación tanto en forma gráfica como en tablas:

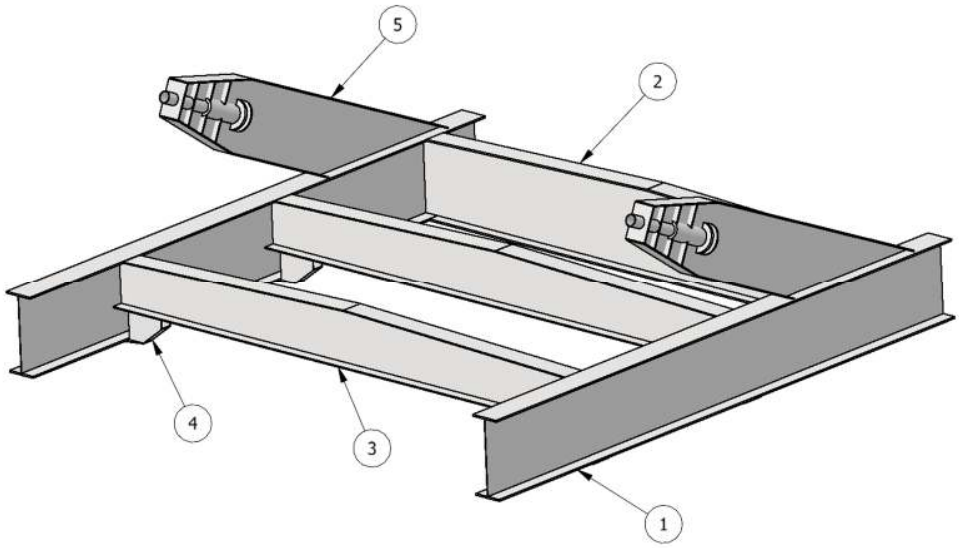


Figura 20. Dovela tipo

TABLA I

LISTA DE COMPONENTES Y CANTIDADES DE DOVELA TIPO

ELEMENTO	CANT.	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	VLP	Viga Longitudinal Principal
2	1	VTP	Viga Transversal Principal
3	2	VTS	Viga Transversal Secundaria
4	4	CARTELA	Pieza Independiente
5	2	PORTAOBENQUES	Pieza Independiente

Todos los elementos constitutivos de la dovela se describen detalladamente también de forma gráfica y en tablas como se visualiza a continuación:

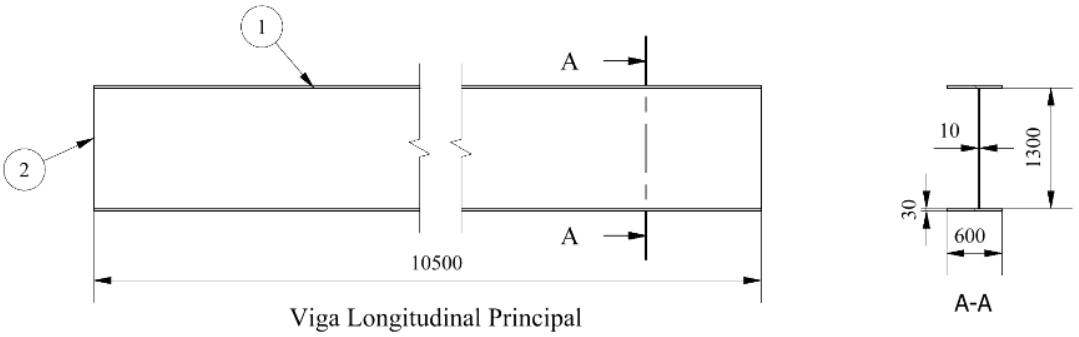


Figura 21. Viga Longitudinal Principal VLP

TABLA II

LISTA DE COMPONENTES Y CANTIDADES VLP			
ELEMENTO	**CANT.**	**NOMBRE DE PIEZA**	**DESCRIPCIÓN**
1	2	PATIN VLP	Acero ASTM A588
2	1	ALMA VLP	Acero ASTM A588

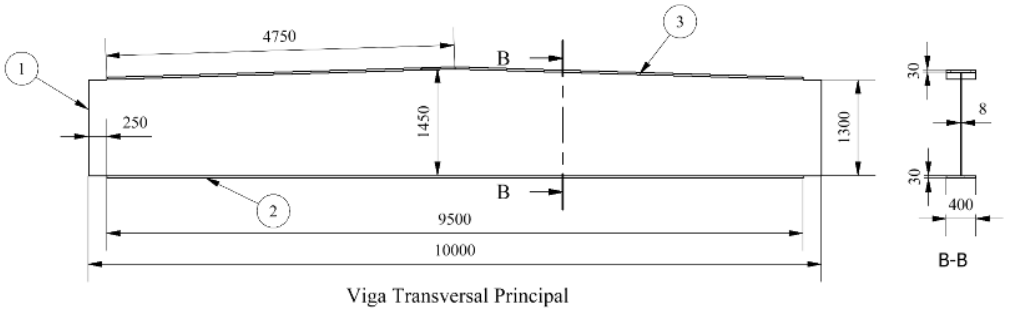


Figura 22. Viga Transversal Principal VTP

TABLA III

LISTA DE COMPONENTES Y CANTIDADES VTP			
ELEMENTO	**CANT.**	**NOMBRE DE PIEZA**	**DESCRIPCIÓN**
1	1	ALMA VTP	Acero ASTM A588
2	1	PATIN INF VTP	Acero ASTM A588
3	2	PATIN SUP VTP	Acero ASTM A588

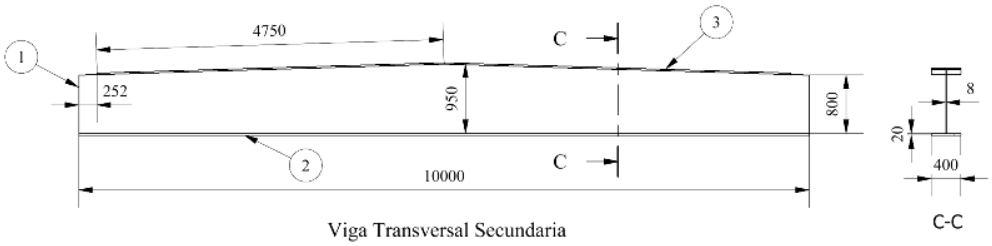


Figura 23. Viga Transversal Secundaria VTS

TABLA IV

LISTA DECOMPONENTES Y CANTIDADES VTS			
ELEMENTO	**CANT.**	**NOMBRE DE PIEZA**	**DESCRIPCIÓN**
1	1	ALMA VTS	Acero ASTM A588
2	1	PATIN INF VTS	Acero ASTM A588
3	2	PATIN SUP VTS	Acero ASTM A588

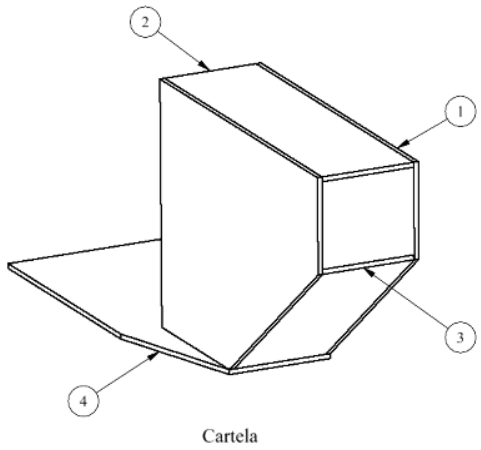


Figura 24. Cartela

TABLA V

LISTA DE COMPONENTES Y CANTIDADES CARTELA			
ELEMENTO	**CANT.**	**NOMBRE DE PIEZA**	**DESCRIPCIÓN**
1	2	PL1	Acero ASTM A588
2	1	PL 2	Acero ASTM A588
3	1	PL 3	Acero ASTM A588
4	1	PL 4	Acero ASTM A588

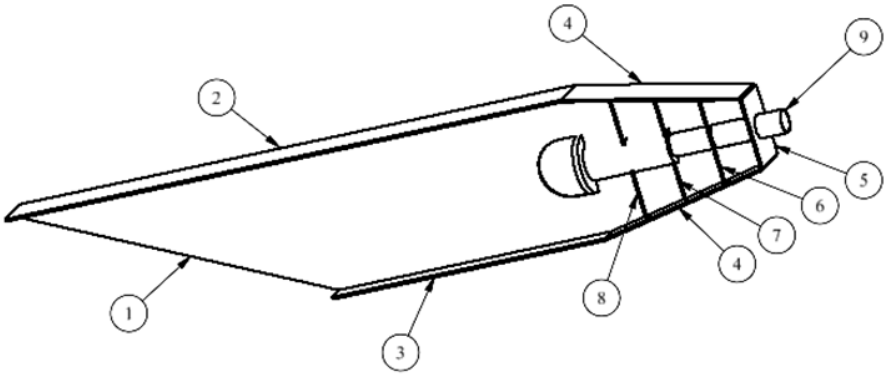


Figura 25. Portaobenque

TABLA VI

LISTA DE COMPONENTES Y CANTIDADES PORTAOBENQUE

ELEMENTO	CANT.	NOMNBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	ALMA	Acero ASTM A588
2	1	PLACA 1	Acero ASTM A588
3	1	PLACA 2	Acero ASTM A588
4	2	PLACA 3	Acero ASTM A588
5	1	PLACA 4	Acero ASTM A588
6	1	RIG 1	Acero ASTM A588
7	1	RIG 2	Acero ASTM A588
8	1	RIG 3	Acero ASTM A588
9	1	ENCASTRE	Acero ASTM A588

Determinados la geometría y las dimensiones de cada uno de los elementos constitutivos de la dovela típica, se procede a cuantificar los pesos de cada uno de los elementos de manera detallada de la forma como se muestra a continuación:

TABLA VII

CUANTIFICACIÓN DE PESOS VLP

ELEMENTO	LONGITUD	CANTIDAD	PESO UNIT. (Kg)	TOTAL (Kg)
Patín VLP	10800	2	1271.7	2543.4
Alma VLP	10800	1	1102.14	1102.14
			PESO TOTAL (Kg)	**3645.54**

TABLA VIII

CUANTIFICACIÓN DE PESOS VTP				
ELEMENTO	**LONGITUD**	**CANTIDAD**	**PESO UNIT. (Kg)**	**TOTAL (Kg)**
Patín Sup VTP	4750	2	447.45	894.9
Patín Inf VTP	9500	1	894.9	894.9
Alma VTP	5000	2	431.75	863.5
			PESO TOTAL (Kg)	**2653.3**

TABLA IX

CUANTIFICACIÓN DE PESOS VTS				
ELEMENTO	**LONGITUD**	**CANTIDAD**	**PESO UNIT.(Kg)**	**TOTAL (Kg)**
Patín Sup VTS	4750	2	298.3	596.6
Patín Inf VTS	9500	1	596.6	596.6
Alma VTS	5000	2	274.75	549.5
			PESO TOTAL (Kg)	**1742.7**

TABLA X

CUANTIFICACIÓN DE PESOS CARTELA				
ELEMENTO	**ESPESOR**	**CANTIDAD**	**PESO UNIT.(Kg)**	**TOTAL (Kg)**
PL1	10	2	19.51	39.01
PL2	10	1	10.99	10.99
PL3	10	1	7.94	7.94
PL4	10	1	19.47	19.47
			PESO TOTAL (Kg)	**77.42**

TABLA XI

CUANTIFICACIÓN DE PESOS PORTAOBENQUE				
ELEMENTO	**ESPESOR**	**CANT.**	**PESO UNIT. (Kg)**	**TOTAL (Kg)**
ALMA	20	1	826.53	826.53
PLACA 1	20	1	314.00	314.00
PLACA 2	20	1	153.86	153.86
PLACA 3	20	2	96.08	192.17
PLACA 4	20	1	37.68	37.68
RIG 1	20	1	23.55	23.55
RIG 2	20	1	28.26	28.26
RIG 3	20	1	32.97	32.97
TUBO DE ENCASTRE				135.9
			PESO TOTAL (Kg)	**1744.92**

TABLA XII

CUANTIFICACIÓN DE PESOS DOVELA TIPO LD

ELEMENTO	CANTIDAD	PESO UNIT. (Kg)	PESO TOTAL (Kg)
VLP	2	3645.54	7291.08
VTP	1	2653.30	2653.30
VTS	3	1742.70	5228.10
CARTELA	6	77.42	464.50
PORTAOBENQUE	2	1744.92	3489.84
PERNOS + PLACAS	1	1000.00	1000.00
		PESO TOTAL (Kg)	**20126.82**

4.4 Determinación de cargas

Las cargas que actuarán en la estructura están definidas por el peso propio de la estructura de montaje Dead, el sobrepeso Sob y la carga viva Live en donde:

- Dead = Peso propio de los elementos estructurales
- Sob = Sobrecarga de peso permanente
- Live = Carga Viva o carga no permanente

Para el prediseño y posterior diseño de la estructura se considera únicamente un conjunto de cerchas aplicando la carga respectiva de acuerdo al área cooperante de la plataforma que sustentará dicho conjunto, aplicando una combinación de carga 1.2(Dead + Sob) + 1.6Live.

La carga Live se determina distribuyendo el peso de la dovela tipo más el peso de la cuadrilla de trabajo del montaje de la dovela conformado por 10 personas, su respectivo equipo de trabajo, los equipos y herramienta menor para el área de la plataforma.

TABLA XIII

CUANTIFICACIÓN DE PESOS CUADRILLA DE TRABAJO LP

CONCEPTO	CANTIDAD	PESO UNIT. (Kg)	TOTAL (Kg)
PERSONAL DE MONTAJE	10	100	1000
EQUIPO DE TRABAJO	10	30	300
EQUIPOS Y HERRAMIENTA MENOR	1	2000	2000
		PESO TOTAL (Kg)	**3300.00**

$$Live = (LD + LP) / AP = (20126.82+3300) / 202.3$$

$$Live = 115.80\ Kg/m^2$$

4.5 Prediseño

Consolidada la información, se procede a ingresar la respectiva información en una hoja de cálculo electrónica elaborada para el efecto, para proceder a predimensionar los elementos más críticos de la estructura que se ubican en el apoyo móvil como se observa en la Figura 1 del diagrama de cuerpo libre de la estructura. Es preciso mencionar, que se ha decidido utilizar elementos del tipo tubular de sección rectangular y cuadrada debido a las características resistentes que ofrecen al momento de resistir pandeo u otros esfuerzos adicionales que se podrían presentar durante la operación de la estructura. La Tabla XIV muestra los datos base para realizar el predimensionamiento de la estructura.

TABLA XIV

DATOS BASICOS DE PREDISEÑO

Concepto	Magnitud	Unidad
Long. Plataforma	14.00	m
Ancho de Plataforma	7.20	m
No. De cerchas	2	u
Sobrecarga de peso permanente (Sob)	0.10	t/m2
Carga viva (Live)	0.116	t/m2
Límite de Fluencia del acero	36	ksi

La Tabla XV visualiza el prediseño del cordón principal de la cercha principal de la estructura en su zona más crítica o de mayor requerimiento

TABLA XV

PREDISEÑO DEL CORDÓN PRINCIPAL		
Concepto	**Magnitud**	**Unidad**
Altura de la Estructura He	280	cm
Base B	15.0	cm
Altura H	20.0	cm
Espesor e	0.4	cm
Área de acero As	27.36	cm2
Momento de Inercia Ix	1624.50	cm4
Radio de giro rx	7.71	cm
Fluencia del acero Fy	2530	kg/cm2
Carga última Cu	0.31	t/m2
Peso total Wt	30.80	t
Peso individual Wi	15.40	t
Peso repartido Wr	1.10	t/m
Momento último Mu	107.82	t-m
Momento de inercia total de la cercha It	928017.00	cm4
Momento resistente de la cercha Mr	134.16	t-m
Demanda vs Capacidad D/C	**0.80**	

Por otra parte, la Tabla XVI muestra el prediseño del montante principal más requerido el mismo que se sitúa en el sitio del apoyo móvil de la estructura

TABLA XVI

PREDISEÑO DEL MONTANTE PRINCIPAL		
Concepto	**Magnitud**	**Unidad**
Carga última Pu	15.40	t
Base del perfil tubular b	7.5	cm
Altura del perfil tubular h	7.5	
Espesor e	0.4	cm
Área de acero As	11.36	cm2
Momento de Inercia Ix	95.75	cm4
Radio de giro rx	2.90	cm
Longitud del elemento L	250	cm
Esfuerzo de Euler fe	2795	kg/cm2
Carga resistente Pr	17.71	t
Demanda vs Capacidad D/C	**0.87**	

Por último, en la Tabla XVII se puede observar el prediseño del diagonal principal más exigido que también se ubica en el nudo del apoyo fijo de la estructura.

TABLA XVII

PREDISEÑO DEL DIAGONAL PRINCIPAL		
Concepto	**Magnitud**	**Unidad**
Carga última Pu	21.78	t
Base del perfil tubular b	10.0	cm
Altura del perfil tubular h	10.0	cm
Espesor e	0.5	cm
Área de acero As	19.00	cm2
Momento de Inercia Ix	286.58	cm4
Radio de giro rx	3.88	cm
Longitud del elemento L	396	cm
Esfuerzo de Euler fe	1994	kg/cm2
Carga resistente Pr	25.44	t
Demanda vs Capacidad D/C	**0.86**	

4.6 Modelación de la estructura en el software de cálculo y diseño de estructuras

Con la información obtenida de la geometría, cuantificación de cargas y el prediseño, se realiza un modelo tridimensional donde se modela de tal forma que se obtenga la geometría antes descrita además de asignar las secciones establecidas en el prediseño como se visualiza en la Figura 25 a continuación:

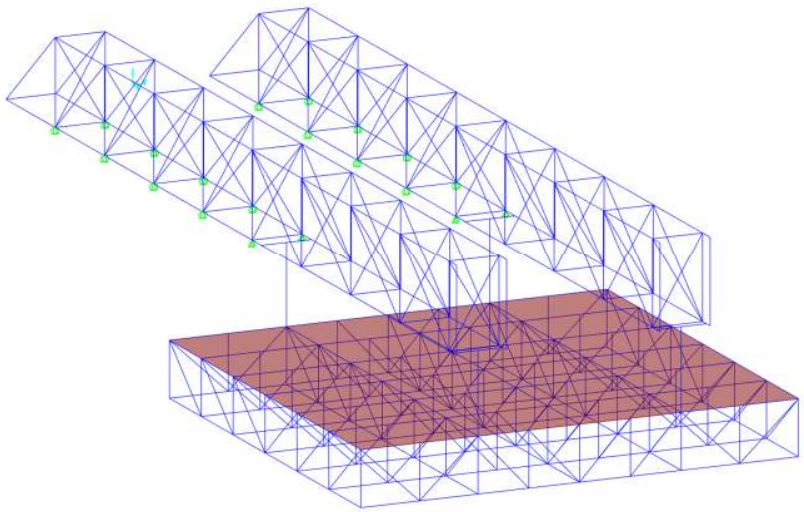


Figura 26. Modelo matemático tridimensional de la geometría de la estructura

4.6.1 Asignación de secciones

El modelo matemático está compuesto por elementos lineales que Frame y que conforman los elementos tubulares de la estructura y de elementos Membrana. Todos los elementos tipo Frame están constituidos por acero ASTM A36 [31] que es el más común en el mercado ecuatoriano y cuyas propiedades se las muestra en la Figura 26, que visualiza la ventana de asignación de propiedades de materiales del programa de cálculo y diseño de estructuras.

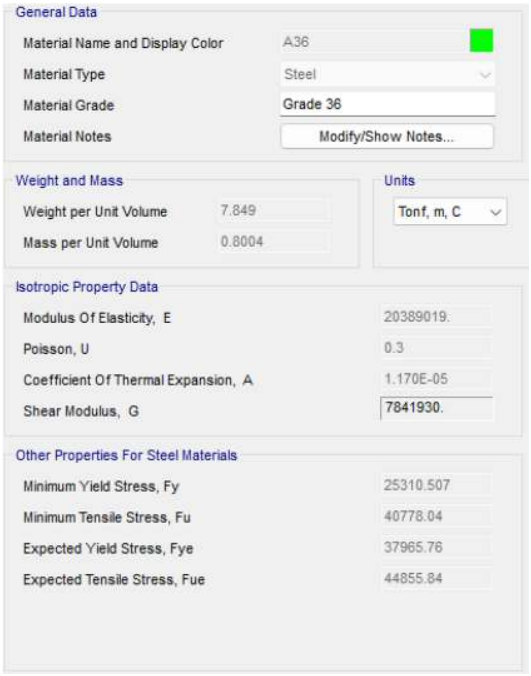


Figura 27. Propiedades de material ASTM A36

Seguidamente, se asignan las características de los elementos tipo Frame que constituyen las barras tubulares de la estructura y los elementos membrana que constituyen las áreas de trabajo conformados por los tableros. En las Figuras que se muestran a continuación, se pueden visualizar las características físicas de cada uno de los elementos constitutivos de la estructura, según se puede visualizar desd las Figuras 28 a la 35.

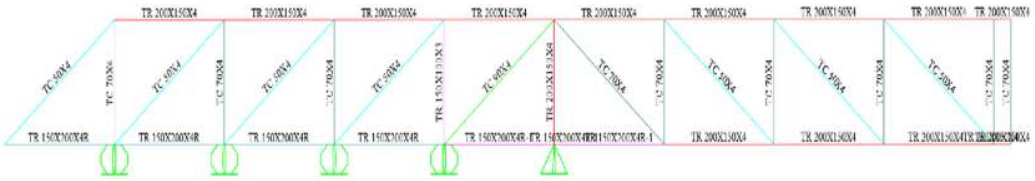


Figura 28. Visualización de asignación de elementos tipo Frame o barra de la estructura

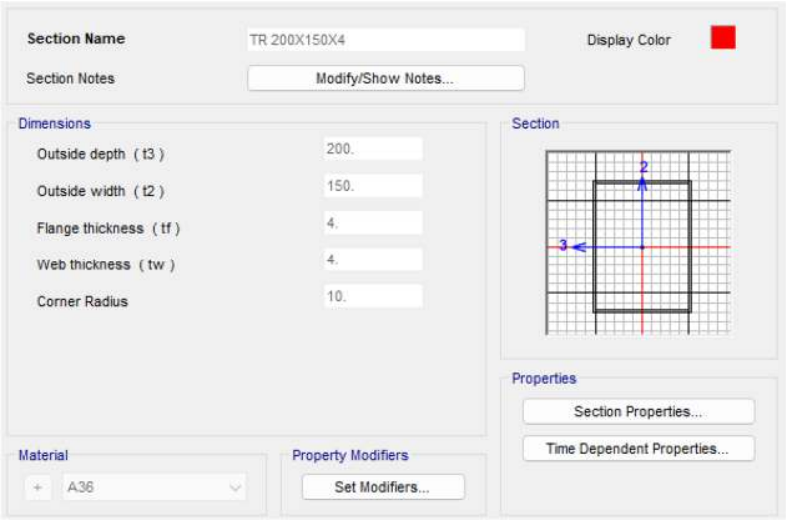


Figura 29. Propiedades de la sección TR 200X150X4 (Tubo rectangular)

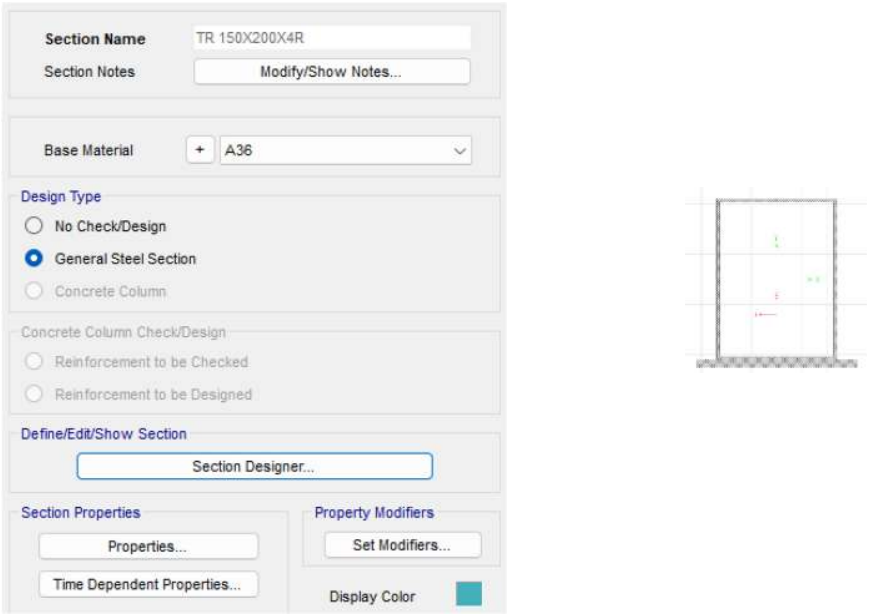


Figura 30. Propiedades de la sección TR 150X200X4R (Tubo rectangular reforzado)

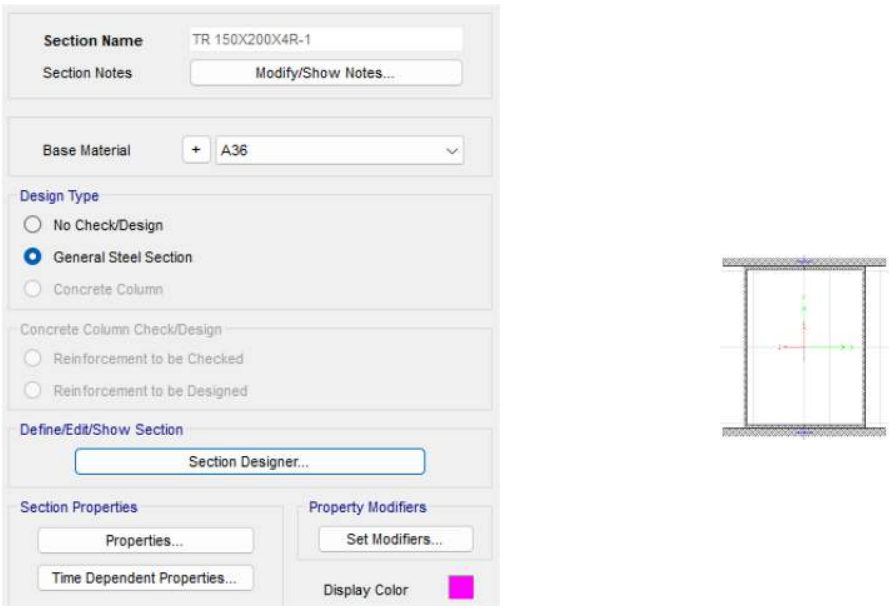


Figura 31. Propiedades de la sección TR 150X200X4R-1 (Tubo rectangular reforzado)

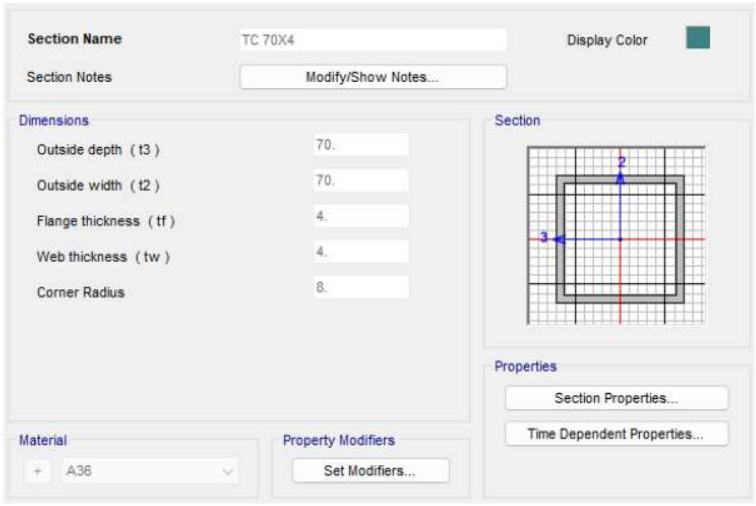


Figura 32. Propiedades de la sección TC 70X4 (Tubo cuadrado)

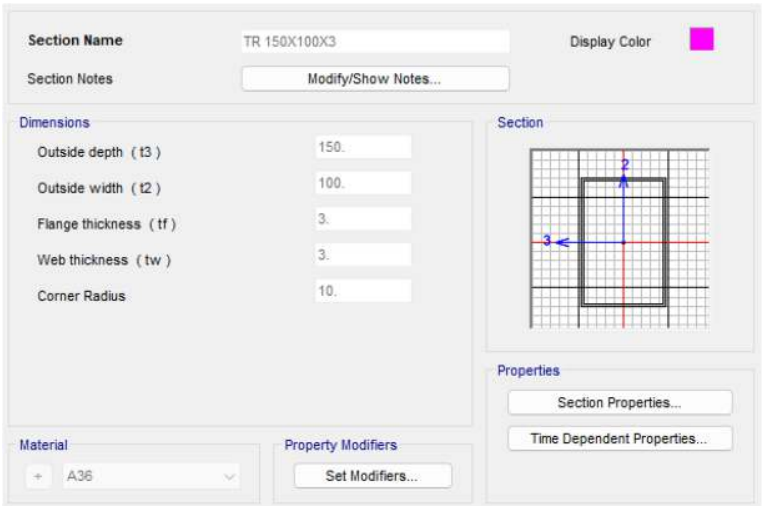


Figura 33. Propiedades de la sección TR 150X100X3 (Tubo rectangular)

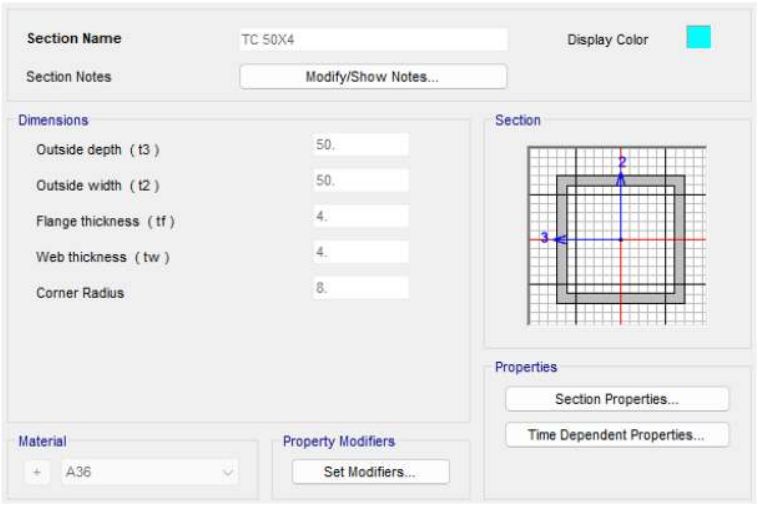


Figura 34. Propiedades de la sección TC 50X4 (Tubo cuadrado)

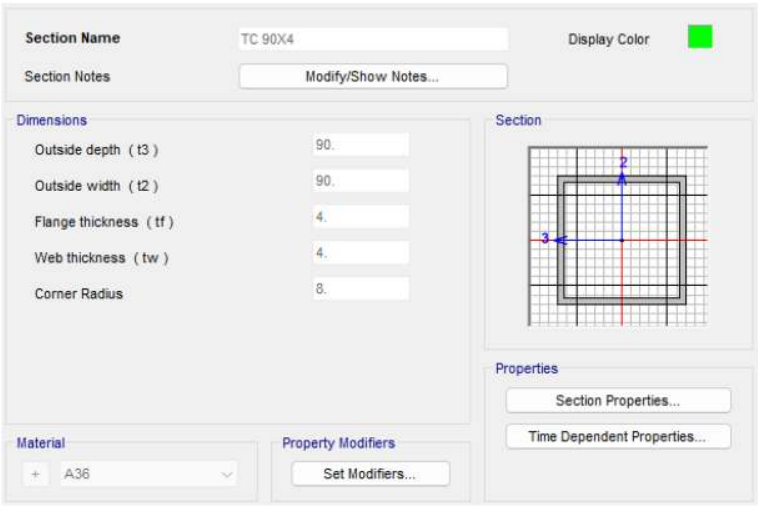


Figura 35. Propiedades de la sección TC 90X4 (Tubo cuadrado)

De la misma forma, la plataforma de trabajo está compuesta por un sistema de cerchas bidireccionales conectadas entre sí como se visualiza el la Figura 36

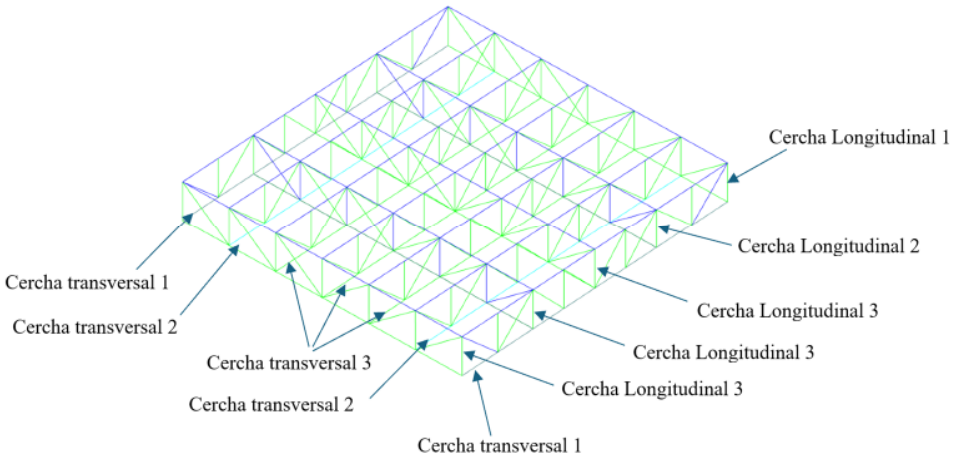


Figura 36. Estructura de la plataforma

Cada una de las cerchas de la Figura 36 se encuentra conformada por diferentes secciones tanto en el cordón principal, montantes y diagonales, de la forma como se muestran en las Figuras 37

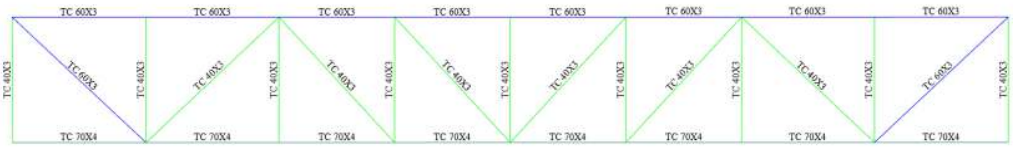


Figura 37. Cercha transversal 1

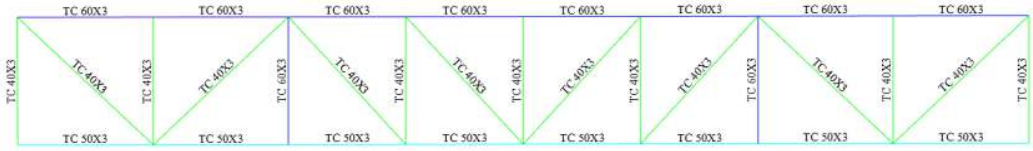


Figura 38. Cercha transversal 2

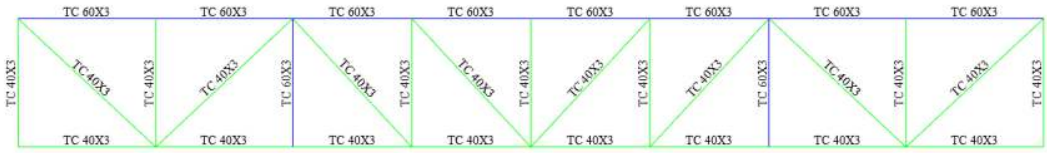


Figura 39. Cercha transversal 3

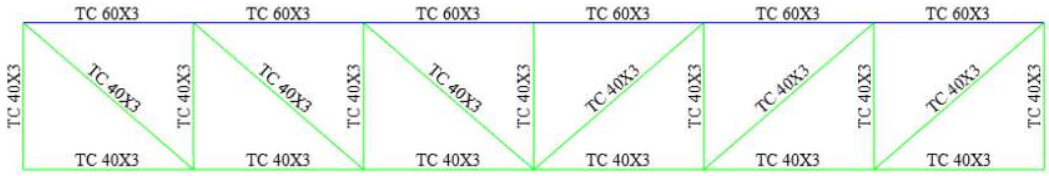


Figura 40. Cercha longitudinal 1

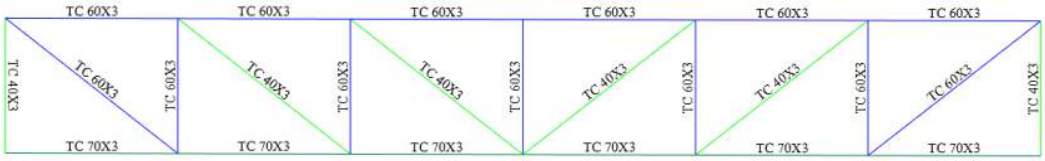


Figura 41. Cercha longitudinal 2

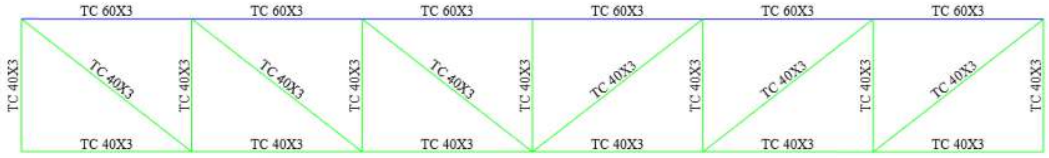


Figura 42. Cercha longitudinal 3

Por otra parte, la plataforma estará conectada a la estructura principal de montaje mediante barras helicoidales de alta resistencia similares a las fabricadas por la empresa DSI [28], que de acuerdo con las especificaciones se ha introducido la información de la sección y el tipo de material en el programa especializado de cálculo de estructuras y que se visualiza en las Figuras 43 y 44

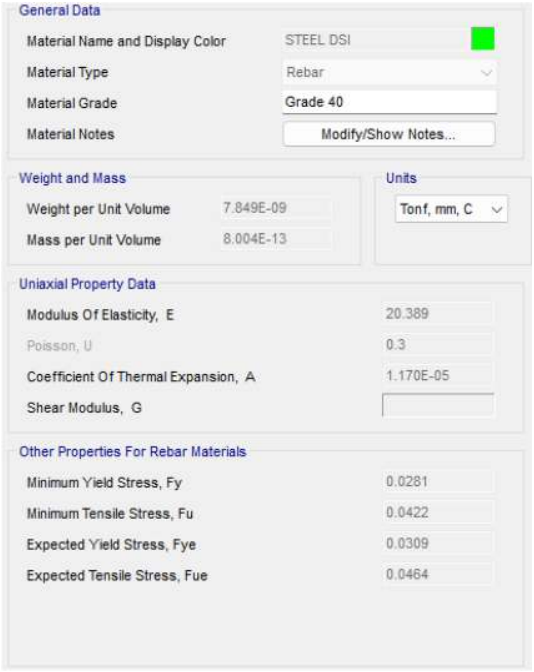


Figura 43. Propiedades del material de barras de helicoidales de alta resistencia tipo DSI

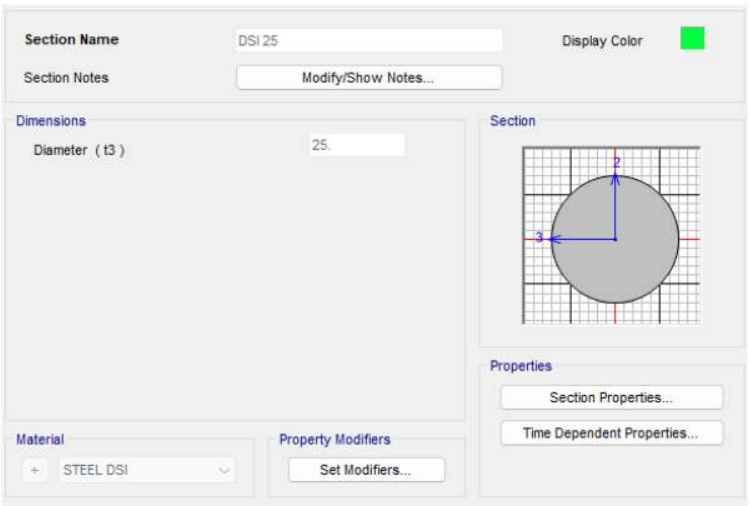


Figura 44. Propiedades de la sección DSI 25 (Barra helicoidal)

Los elementos tipo membrana simulan los tableros de madera que se instalarán sobre la plataforma y que no aportarán rigidez a la estructura de la plataforma, sino que únicamente transmitirán cargas a sus elementos, por sus características

mecánicas se ha propuesto el uso del eucalipto, cuyas propiedades mecánicas están de acuerdo a [29] y que se muestran en las Figuras 45 y 46.

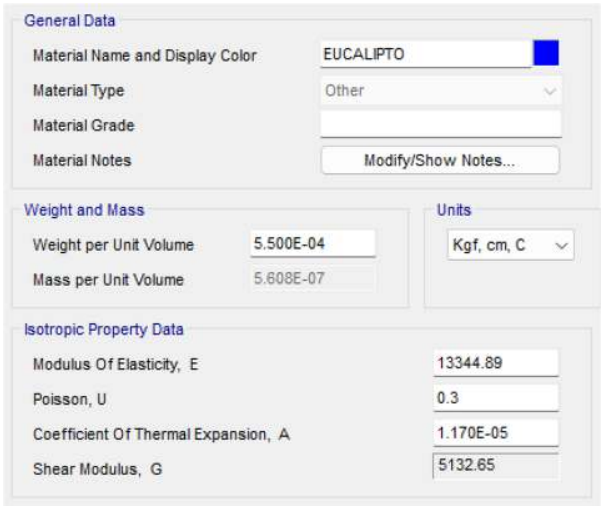


Figura 45. Propiedades del material del eucalipto (Tableros de la plataforma)

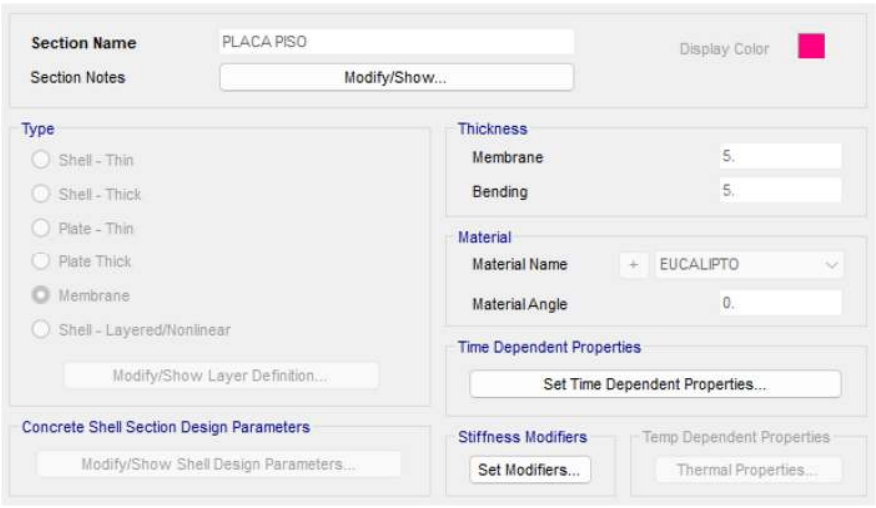


Figura 46. Propiedades de la Placa de Piso (Tableros de eucalipto)

4.6.2 Asignación de cargas a la estructura

Establecidas las cargas que actuarán en la estructura, éstas se aplican directamente a la plataforma por medio de elementos tipo membrana como una

carga uniformemente distribuida, la misma que será transmitida a la estructura principal de montaje por medio de las barras helicoidales.

En el prediseño de la estructura se asumió una carga muerta distribuida de 100 Kg/m^2 que simulara la carga de la plataforma, sin embargo, en el modelo de cálculo ya no es necesario asignarla a la estructura debido a que ya actúa el peso propio real de cada uno de los elementos. Por este motivo únicamente se aplica la carga viva Live a la plataforma de la estructura de la forma como se visualiza en la Figura 47

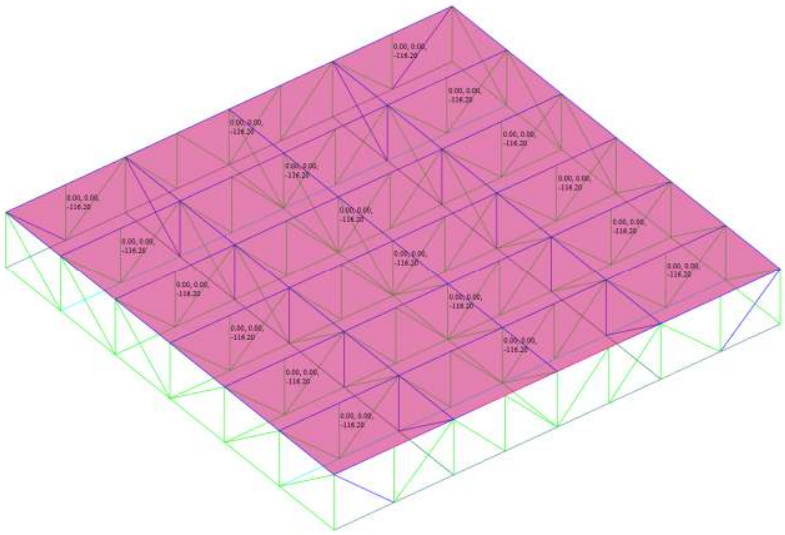


Figura 47. Asignación de carga viva Live a la plataforma

4.6.3 Análisis y de la estructura

Asignadas todas las propiedades de materiales, elementos estructurales y cargas, se realiza el análisis de la estructura en el software para obtener los resultados. Cabe destacar que lo ideal del trabajo de una cercha es que todos sus elementos trabajen a fuerzas axiales de tensión y compresión. Las fuerzas axiales con las que se va a realizar el diseño de los miembros de la estructura se visualizan en la Figura 48, siendo 25.56 Ton. la fuerza más crítica en tensión y 34.87 Ton. La fuerza más crítica a compresión.

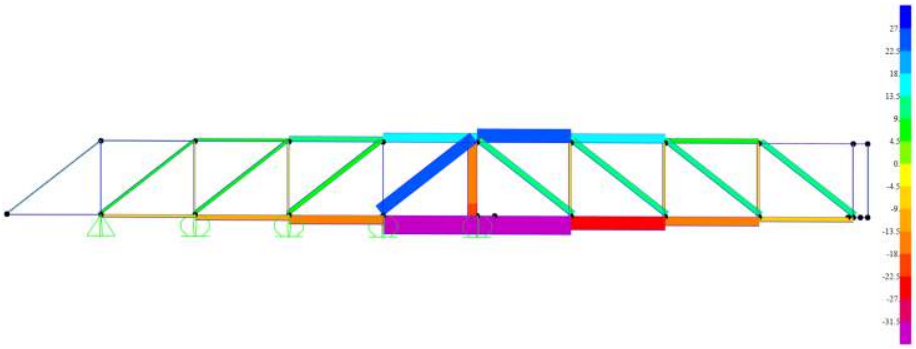


Figura 48. Fuerzas axiales por combinación de diseño (Ton)

4.6.4 Diseño de la estructura

Al realizar el diseño de la estructura con su respectiva combinación de cargas, arroja como resultado que los elementos más solicitados tanto de la estructura principal como de la plataforma se encuentran trabajando en un rango entre el 70% y 90% de su capacidad normal de trabajo, como se visualiza en las Figuras 49 a 56

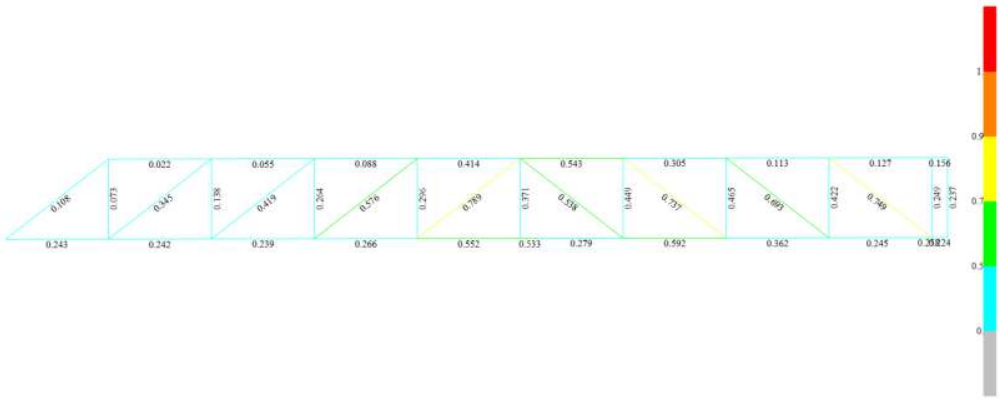


Figura 49. Radio de trabajo de los elementos de la cercha principal de la estructura de montaje

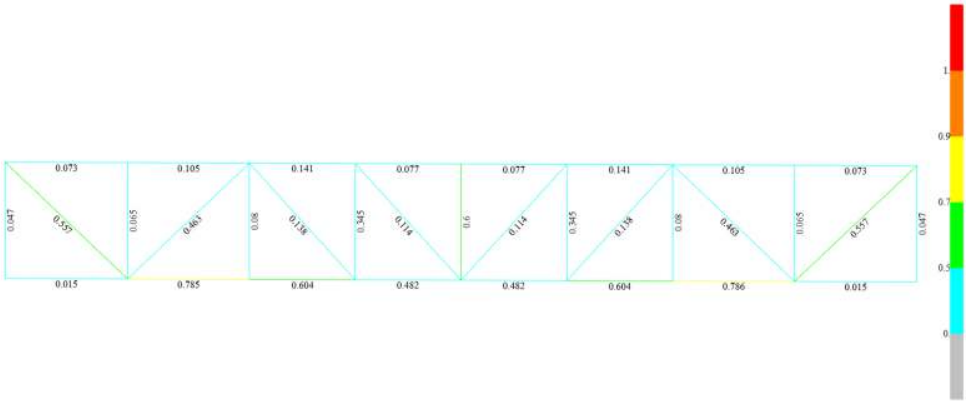


Figura 50. Radio de trabajo de los elementos de la cercha transversal 1 de la plataforma

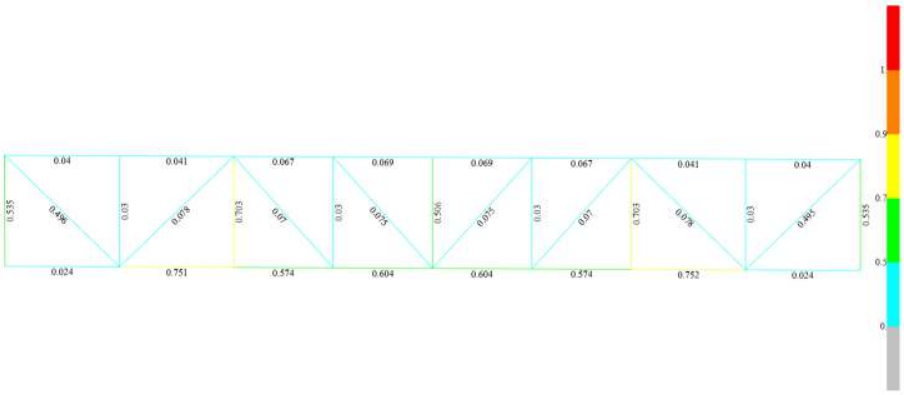


Figura 51. Radio de trabajo de los elementos de la cercha transversal 2 de la plataforma

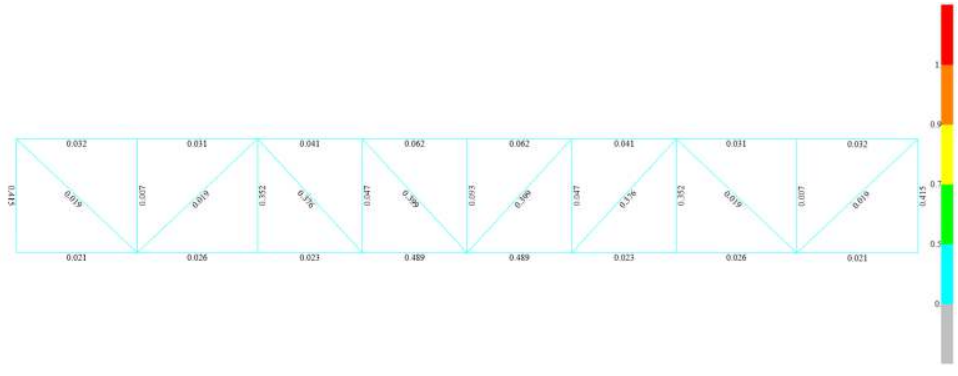


Figura 52. Radio de trabajo de los elementos de la cercha transversal 3 de la plataforma

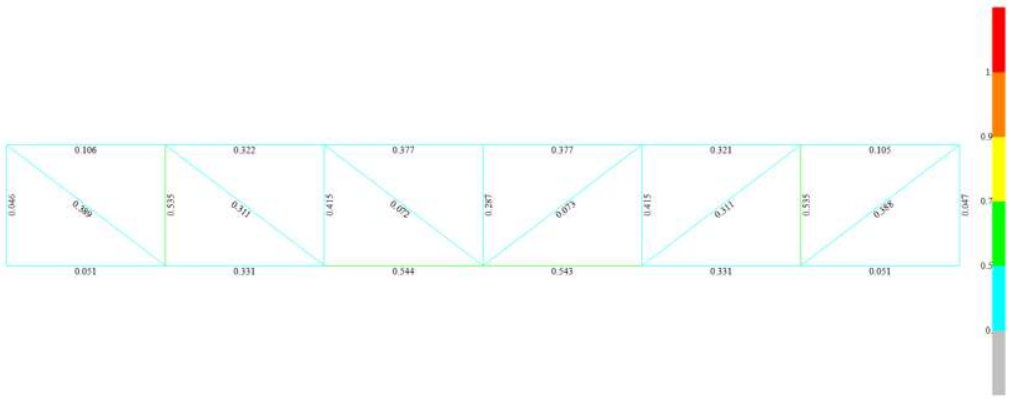


Figura 53. Radio de trabajo de los elementos de la cercha longitudinal 1 de la plataforma

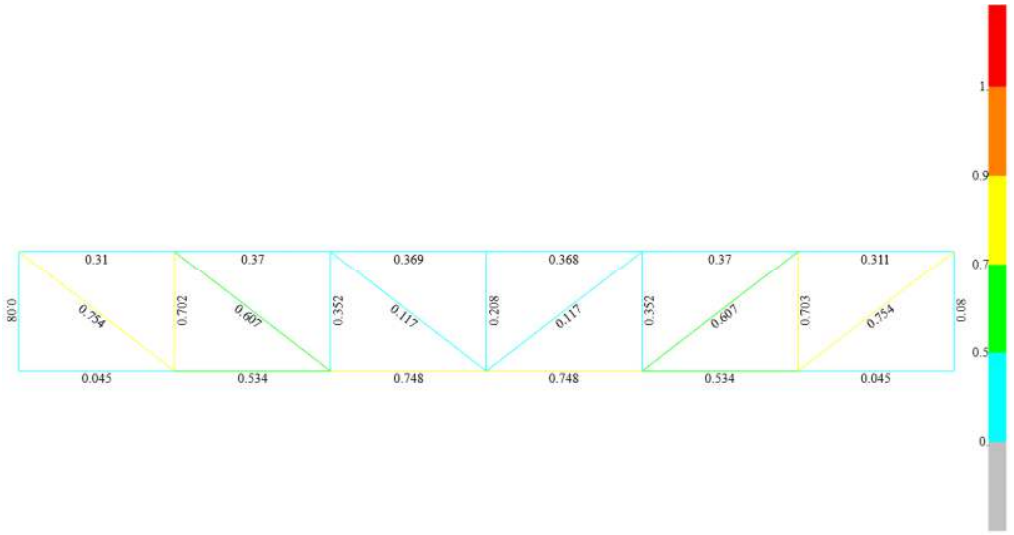


Figura 54. Radio de trabajo de los elementos de la cercha longitudinal 2 de la plataforma

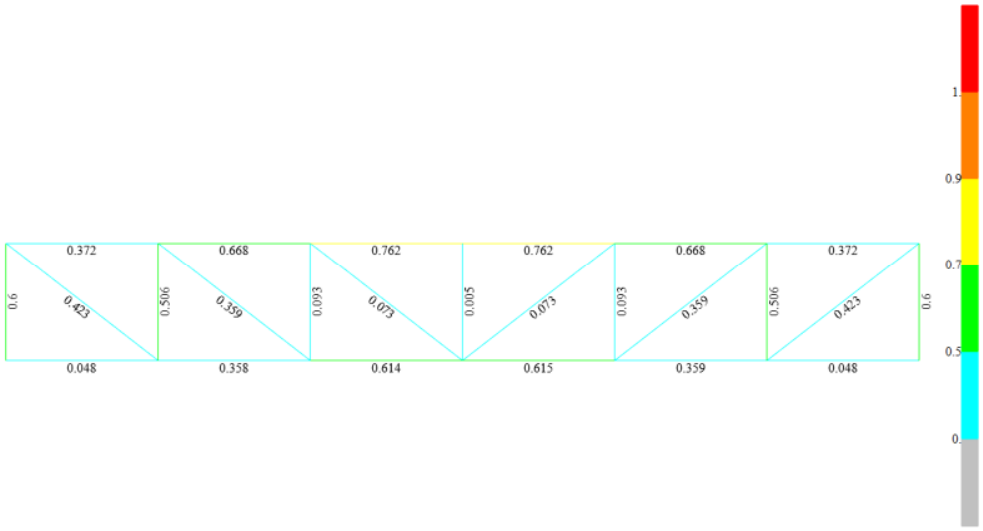


Figura 55. Radio de trabajo de los elementos de la cercha longitudinal 3 de la plataforma

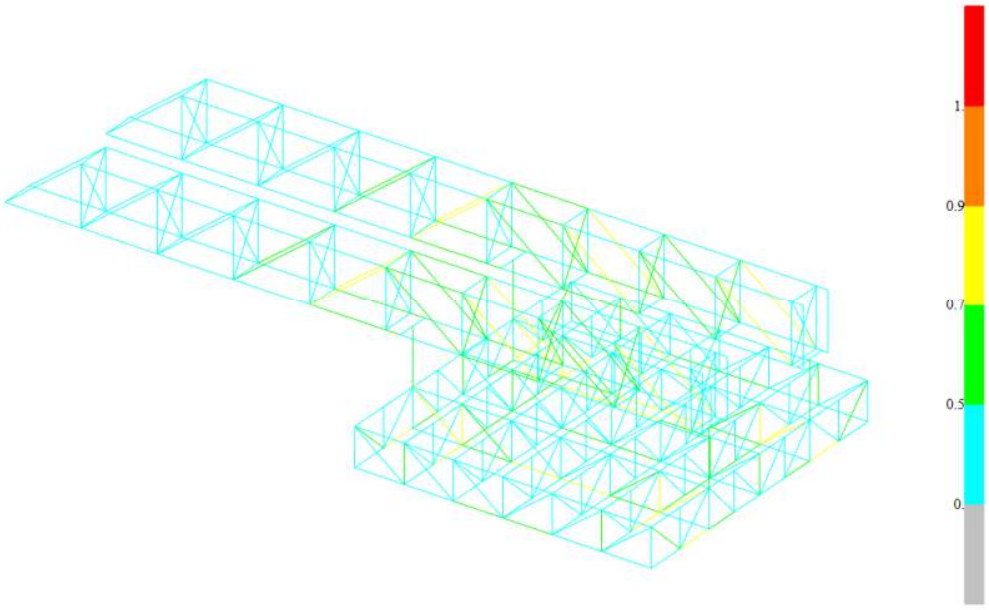
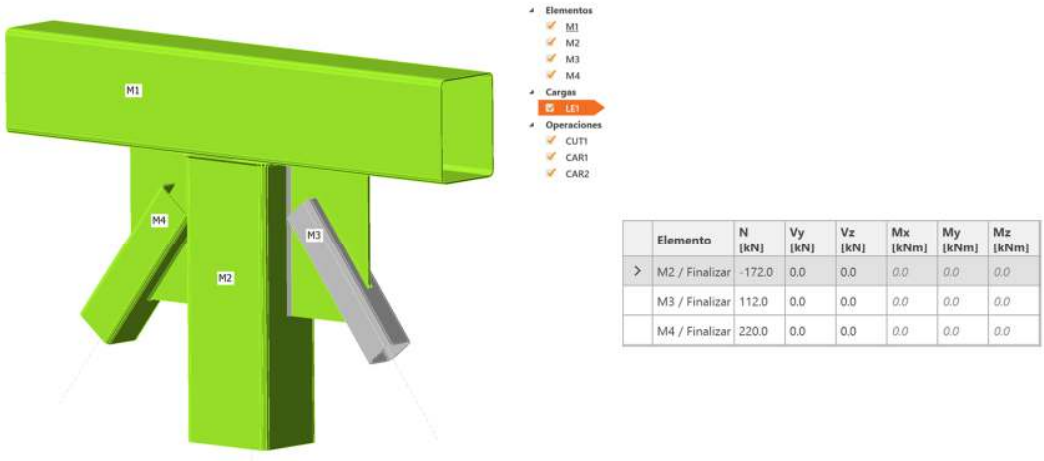


Figura 56. Radio de trabajo de los elementos del conjunto de la estructura de montaje

4.7 Diseño de conexiones

Una vez verificado el adecuado comportamiento de los elementos de la estructura, se procede a realizar el diseño de las conexiones de la misma con la ayuda de un software especializado para el efecto. Se han seleccionado tres tipos de conexiones que se encuentren más exigidas durante la operación de la estructura a las cuales se les ha asignado las cargas de diseño de la estructura pudiendo verificar que todos los componentes de las conexiones se encuentran trabajando adecuadamente.

La Figura 57 se muestra el comportamiento de los elementos de la conexión soldada tipo 1 que está constituida por el cordón superior, el montante de la zona de apoyo más exigido, los diagonales y las placas de conexión. En esta conexión se observa un comportamiento adecuado de la misma bajo el estado de cargas de diseño.



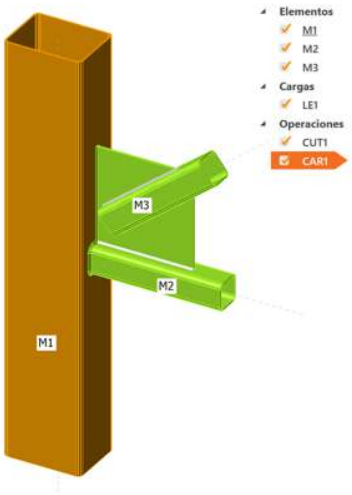
	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	M2 / Finalizar	-172.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M3 / Finalizar	112.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M4 / Finalizar	220.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 57. Diseño de la conexión tipo 1 de la estructura principal con su estado de cargas crítica

En la Figura 58 se puede observar la conexión soldada del nudo donde intervienen el cordón principal, un montante ordinario de zona no crítica, un diagonal y sus respectivas placas de conexión. Se observa un adecuado comportamiento de los elementos bajo el estado de cargas de diseño y se puede observar también que el cordón principal es el elemento más exigido del conjunto.

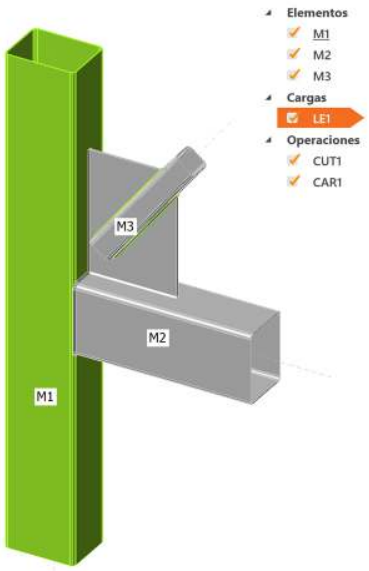
Asimismo, en la Figura 59 se muestra el comportamiento de la conexión soldada del nudo inferior en la zona inferior de apoyo más exigida, donde intervienen el cordón inferior M1, el montante más exigido M2, el diagonal M3 y su placa de conexión. Aplicadas las cargas de diseño se puede observar que los elementos de la conexión no se encuentran sobre exigidos,

Con la información obtenida es posible ya generar una maqueta virtual con la ayuda de Autodesk Inventor como se visualiza en la Figura 60, de donde se pueden generar los planos de construcción de la estructura principal y la plataforma de trabajo. Es necesario indicar que todos los elementos constitutivos de las cerchas de la estructura han sido seleccionados de un catálogo comercial de una proveedora de productos de acero del Ecuador [32].



	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	M2 / Finalizar	-55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M3 / Finalizar	130.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 58. Diseño de la conexión tipo 2 de la estructura principal con su estado de cargas crítica



	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	M2 / Finalizar	-55.0	0.0	0.0	*0.0*	*0.0*	*0.0*
	M3 / Finalizar	112.0	0.0	0.0	*0.0*	*0.0*	*0.0*

Figura 59. Diseño de la conexión tipo 3 de la estructura principal con su estado de cargas crítica

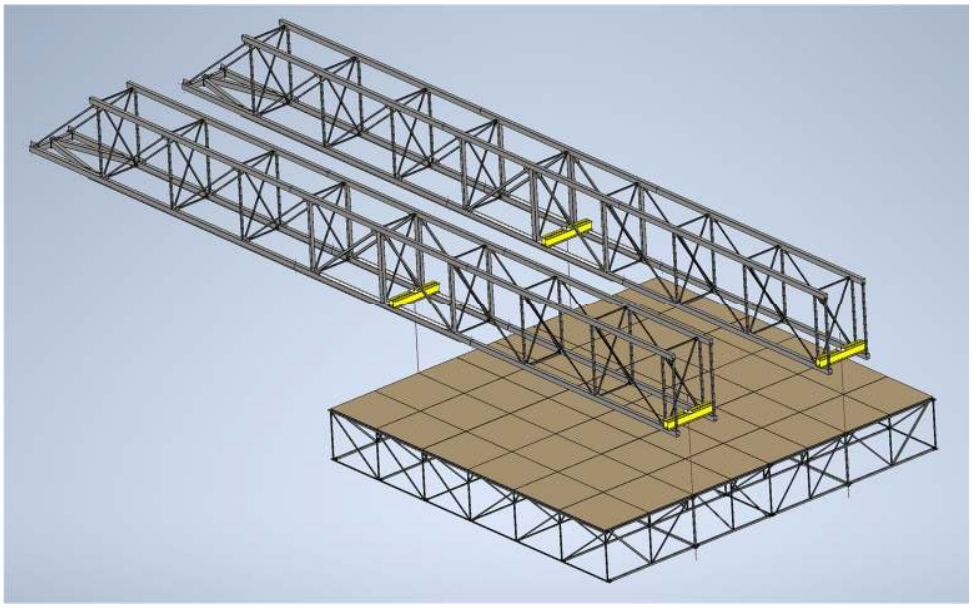


Figura 60. Maqueta virtual de la estructura generada en Autodesk Inventor

4.8 Diseño de los componentes de movimiento de la estructura

Del análisis de la estructura se extrae la información de las reacciones en los sitios de apoyo de la misma en el caso de carga Dead, puesto que para realizar el movimiento hacia la etapa siguiente de construcción del puente la estructura estará completamente descargada y únicamente actuará su peso propio. la carga de diseño de los componentes de diseño es de 6.93 Ton como se puede visualizar en la Figura 61.

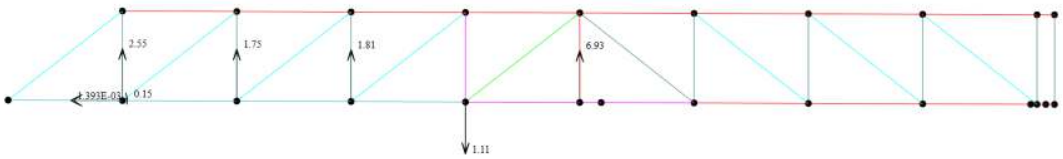


Figura 61. Reacciones de la estructura en sus apoyos (Ton)

Los componentes de movimiento de la estructura están conformados por 3 tipos de dispositivos que son:

a) **Bancada de apoyo de la estructura**. - La bancada de apoyo de la estructura es el dispositivo que permitirá el adecuado apoyo de la estructura de montaje sobre la superestructura del puente, considerando que los patines superiores de las vigas transversales tienen una determinada pendiente y no son horizontales.
b) **Rodillo de movimiento**. - Este tipo de dispositivo será el encargado de permitir el deslizamiento de la estructura sin rozamiento sobre las bancadas de apoyo de la estructura.
c) **Equipo hidráulico de impulsión**. - El equipo hidráulico es el dispositivo que ejecutará la acción de empuje de la estructura de montaje hacia adelante en pequeñas etapas hasta llegar al sitio adecuado para realizar la nueva etapa de construcción de la superestructura del puente. El equipo Hidráulico de impulsión está compuesto por dos gatos hidráulicos, una bomba hidráulica con

su respectiva caja de control de mando individual para cada gato hidráulico y dos rieles de guía y reacción para los garos hidráulicos.

4.8.1 Bancada de apoyo de la estructura

La estructura de montaje se apoyará sobre la estructura del puente por medio de dispositivos de apoyo que permitirán el adecuado acople entre ambas estructuras. Se ha diseñado una geometría que compense la pendiente del patín superior de la viga transversal y la horizontalidad en la que se debe mantener la estructura de montaje. La bancada de apoyo deberá ser lo suficientemente resistente para soportar la reacción más crítica de la estructura durante su operación, la misma que tiene una magnitud de 28.88 Ton (284000 N), condición en la que se realiza un análisis de esfuerzos al dispositivo con la ayuda de Autodesk Inventor.

En la Figura 62 se observa que el factor de seguridad mínimo que presenta el dispositivo frente a la condición de carga de diseño es de 3.91. La Figura 63 muestra el ensamblaje de la bancada en la superestructura del puente.

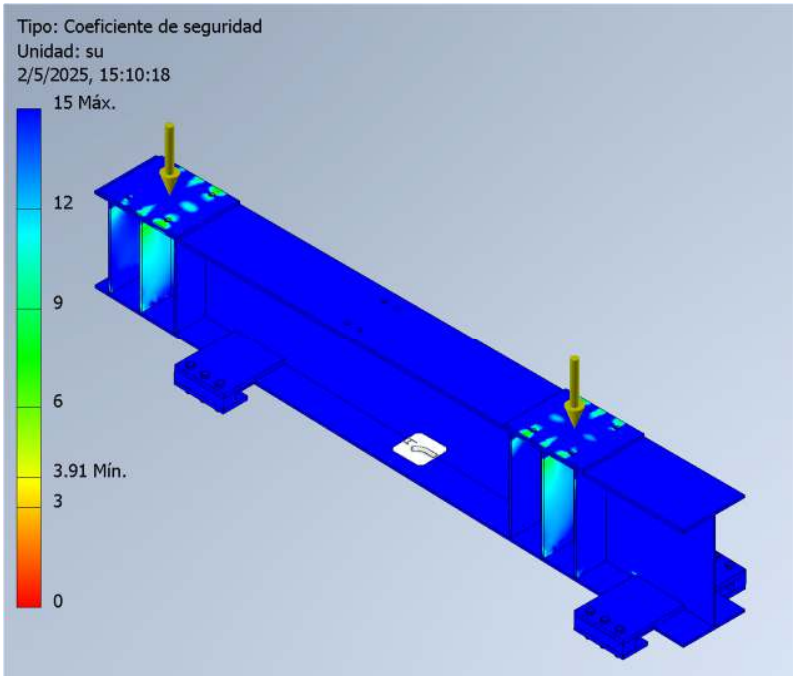


Figura 62. Análisis de esfuerzos de la bancada de apoyo

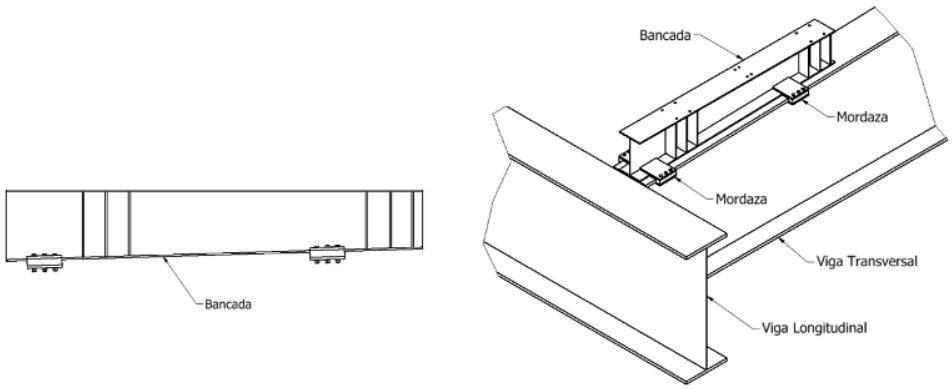


Figura 63. Bancada de apoyo de la estructura de montaje

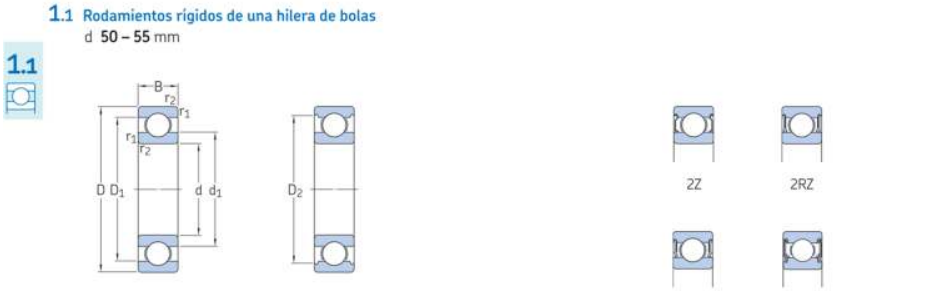
4.8.2 Rodillo de movimiento

El rodillo de movimiento es el dispositivo que permitirá el deslizamiento de la estructura de montaje sobre la bancada de apoyo minimizando al mínimo la fricción. Estos rodillos de movimiento están diseñados geométricamente para acoplarse a la placa de refuerzo del cordón inferior de las cerchas de la estructura principal con una guía que impidan desplazamientos laterales no deseados de la estructura durante el desplazamiento de la estructura de montaje.

Para el diseño de este dispositivo se ha considerado dos parámetros que son la selección del rodamiento que se lo realiza de acuerdo al manual de selección del tamaño basada en la carga estática de rodamientos SKF [33], el manual de selección de rodamientos SKF [25] y el análisis de esfuerzos de todos los elementos constitutivos del dispositivo. Para los dos casos se aplicará la condición de carga Dead de la estructura sin ser mayorada por los motivos descritos en la sección 4.11, siendo la carga de diseño de 6.93 Ton (68 kN).

De acuerdo con el manual de selección de rodamientos[33] [25] se considera que se pueden despreciar la velocidad de trabajo y el tipo de lubricación del rodamiento puesto que el rodamiento estará trabajando eventualmente a revoluciones más bajas de mínimo que define la tabla de selección del rodamiento

mostrada en la Figura 64. Por este motivo únicamente se considera como factor principal la carga estática para la selección del rodamiento.



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
			dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite[1]		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado[1]
d	D	B	C	C_0	P_u					
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–	
50	90	20	37,1	23,2	0,98	15 000	8 000	0,47	▸ 6210-2Z	6210-Z
cont.	90	20	37,1	23,2	0,98	15 000	8 000	0,48	6210-2RZ	6210-RZ
	90	23	35,1	23,2	0,98	–	4 800	0,54	62210-2RS1	–
	110	27	65	38	1,6	13 000	8 500	1,3	6310 M	–
	110	27	65	38	1,6	–	4 300	1,1	▸ 6310-2RSH	▸ 6310-RSH
	110	27	65	38	1,6	13 000	8 500	1,1	▸ 6310	–
	110	27	65	38	1,6	13 000	6 700	1,1	▸ 6310-2Z	6310-Z
	110	40	61,8	38	1,6	–	4 300	1,6	62310-2RS1	–
	130	31	87,1	52	2,2	12 000	7 500	1,95	6410	–

Figura 64. Tabla de selección de rodamientos [33]

De acuerdo a la Figura 64, se selecciona el rodamiento con el código SKF 6410 en virtud de que un solo rodamiento tiene la capacidad de soportar una carga estática básica Co de 52 kN. El dispositivo de rodamiento estará constituido por dos rodamientos, cuya capacidad de carga básica de 104 kN que es mayor al requerido de 68 kN, siendo el coeficiente de seguridad de 1.53. La Figura 65 visualiza el análisis de esfuerzos del dispositivo, en donde se observa un factor de seguridad mínimo de 8.91 y la Figura 66 muestra su ensamblaje en la bancada.

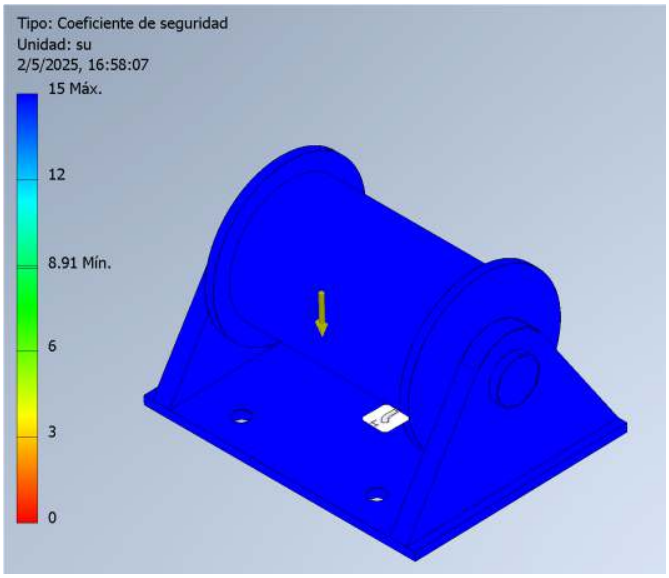


Figura 65. Análisis de esfuerzos del rodillo de movimiento

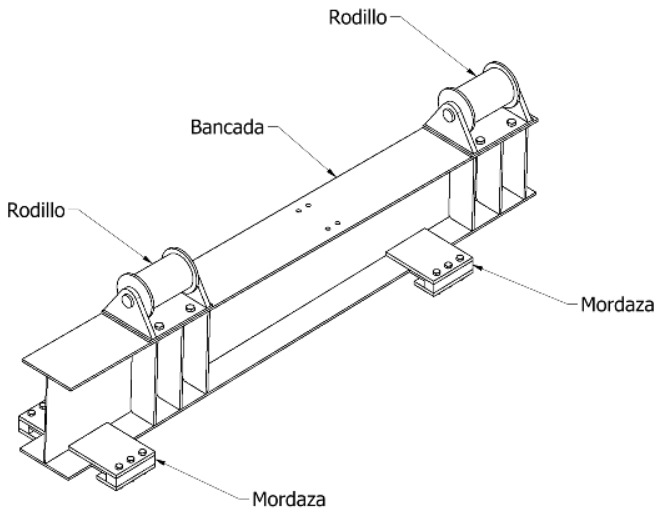


Figura 66. Ensamble del rodillo de movimiento en la bancada de apoyo

4.8.3 Equipo Hidráulico de impulsión

Para el diseño del equipo hidráulico de impulsión se deben considerar el peso propio de cada conjunto de cerchas de la estructura. Cada par de cerchas será impulsado mediante un gato hidráulico que repetirá su impulsión las veces

necesarias hasta llegar a la posición definitiva de la estructura para iniciar un nuevo proceso de montaje de la superestructura del puente.

La fuerza del par de cerchas de la estructura es de 28.28 Ton de donde, aplicando la ley de Coulomb de rodadura y tomando el valor de Crr = 0.0024 de la figura 11 se obtiene la fuerza horizontal necesaria que deberá ejercer el gato hidráulico para mover la estructura.

$$F = Crr * N \text{ [30]} \qquad \text{Ecuación 2}$$

$$F = 0.0024 * 28.28 \text{ Ton} = 0.07 \text{ Ton.}$$

Debido a pérdidas, rozamiento, pendiente de la superestructura y demás, se asumirá un valor de 700 Kg para el diseño del gato hidráulico. Generalmente, las bombas hidráulicas tienen una presión máxima de trabajo de 250 Bar [34] (255 Kg/cm^2), pero se asumirá un valor del 25% de esta capacidad para el diseño.

De la teoría elemental de ingeniería se sabe que:

$$\sigma = F/A \qquad \text{Ecuación 3}$$

$$D = (4*A / \pi)^{0.5}$$

En donde:

σ = Esfuerzo o presión

F = Fuerza Actuante

A= Área donde se aplica la fuerza actuante

D = Diámetro del pistón del gato hidráulico

Reemplazando los valores se obtiene:

$$122.5 = 700/A$$

$$A= 700/63.75 = 10.98 \text{ cm}^2$$

$$D = (4*10.98/3.1416)^{0.5} = 3.74 \text{ cm}$$

De acuerdo con el cálculo se debería utilizar un gato hidráulico que tenga un diámetro de pistón de 3.74cm, sin embargo, comercialmente no es posible encontrar un gato hidráulico con esas características de pistón. Por otra parte, se necesita un gato hidráulico que tenga una longitud de empuje de aproximadamente 1m para que la operación de empuje de la estructura no sea muy repetitiva y de esta manera acelerar el proceso de movimiento de la estructura, por lo que se propone un gato hidráulico como el que se muestra en la Figura 67.

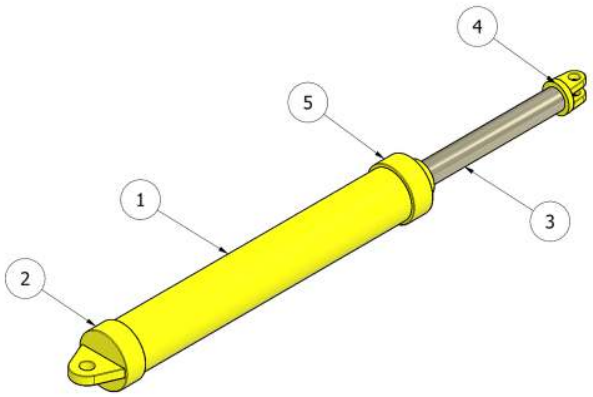


Figura 67. Gato hidráulico

TABLA XVIII

COMPONENTES DEL GATO HIDRÁULICO			
ELEMENTO	**CANT.**	**NOMBRE DE PIEZA**	**DIMENSIONES**
1	1	CILINDRO	158mm
2	1	TAPA INFERIOR	---------
3	1	ÉMBOLO	70mm
4	1	ACOPLE	---------
5	1	TAPA SUPERIOR	---------

El gato hidráulico se deslizará sobre un riel guía mediante un dispositivo de acople que le permitirá fijarse el gato al riel mediante un pin pasador. La Figura 68 muestra el conjunto armado del equipo de impulsión mientras que la Figura 69 visualiza el conjunto armado del equipo de impulsión en la estructura de montaje.

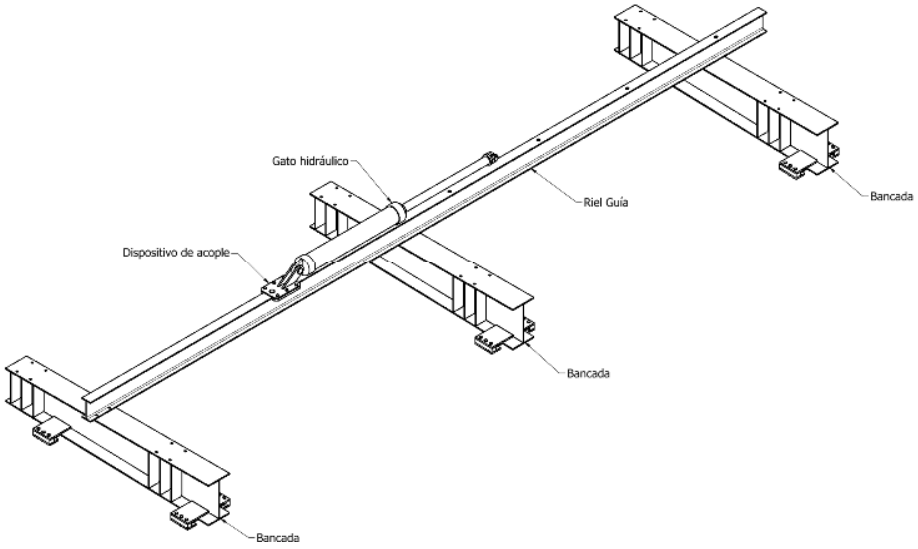


Figura 68. Conjunto armado del equipo de impulsión

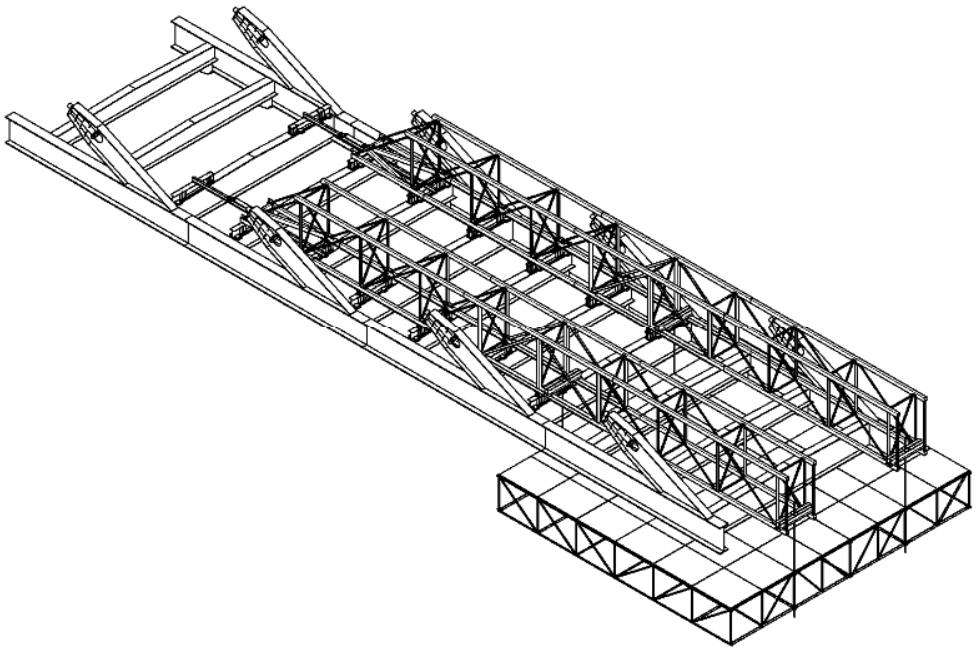


Figura 69. Conjunto armado de la estructura de montaje

4.9 Análisis de precios unitarios para definir un presupuesto referencial de ejecución de la construcción de la estructura

Para la ejecución de la construcción de la estructura de montaje de la superestructura del puente intervienen los rubros que se describen a continuación:

- Acero estructural ASTM A36
- Montaje de acero estructural ASTM A36
- Tableros de madera con borde metálico
- Barras helicoidales DSI
- Rodillo
- Equipo de impulsión

Para la elaboración de los precios unitarios de los rubros enlistados, se toma en consideración le equipo, la mano de obra y el material que intervienen en cada uno de los rubros. Es necesario indicar que la valoración de la mano de obra se la realiza de acuerdo con la tabla de salarios emitida por la Contraloría General del Estado de Ecuador en enero de 2025 [35].

En la Tabla XIX se observan las cantidades, el precio unitario y el precio total de cada uno de los rubros anteriormente mencionados así como también el costo total de la fabricación e instalación de la estructura de montaje en la superestructura del puente. Los análisis de precios unitarios se los puede observa con mayor detalle en las páginas adjuntas al presente documento y que se encuentran en los anexos.

TABLA XIX

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	P. TOTAL
Acero estructural ASTM A36	Kg	26993	3.87	104462.91
Montaje de acero estructural ASTM A36	Kg	30000	1.16	34869.32
Tableros de madera con borde metálico	u	48	105.40	5059.12
Barras helicoidales DSI	Kg	24	9.66	231.75
Rodillo	u	30	240.28	7208.33
Equipo de impulsión	glb	1	8070.31	8070.31
			Gran Total	**159901.74**

4.10 Verificación de la hipótesis

Luego de realizar el estudio del diseño de la estructura de montaje para la superestructura de un puente atirantado, es posible realizar la aceptación o rechazo de la siguiente hipótesis:

¿El diseño de la estructura planteada, permitirá realizar un montaje seguro de un puente atirantado de losa de hormigón sobre vigas de acero?

Iniciando desde el punto del diseño de la estructura, se ha verificado que los elementos constitutivos de la estructura principal y la plataforma de trabajo no llegan a superar su capacidad máxima de trabajo de los elementos puesto que se ha verificado que los elementos más exigidos de la estructura en general están trabajando en un máximo del 90% de la relación demanda / capacidad, en la combinación más desfavorable que podría trabajar la estructura (1.2Dead + 1.6Live). en otro contexto, el diseño de las conexiones ha demostrado la seguridad necesaria frente a las cargas de diseño transmitidas por los elementos de la estructura, siendo la condición más critica la soldadura de la conexión tipo 2 la más exigida y que trabaja al 81.8% de su capacidad.

Así mismo, el análisis de esfuerzos realizado a los elementos de movimiento de la estructura ha demostrado seguridad frente a la aplicación de las cargas de diseño, puesto que el factor de seguridad más crítico de los elementos es de 3.91 en la bancada de apoyo, demostrando así seguridad para la operación requerida.

Es necesario destacar además que el total de la estructura y sus dispositivos de movimiento a excepción de los gatos y la bomba hidráulica pueden ser fabricados en el Ecuador, en virtud de que todos los elementos constitutivos de la estructura están diseñados con perfiles y materiales comerciales en el Ecuador.

En conclusión, la estructura diseñada en el presente trabajo demuestra seguridad durante el montaje de superestructuras de puentes atirantados de losa de hormigón sobre vigas de acero.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS

5.1 Conclusiones

- La estructura de montaje diseñada en el presente estudio cumple con los parámetros aceptables de diseño de acuerdo con lo estipulado en la norma AISC 360 – 16. El rango de trabajo de los elementos más exigidos se encuentra entre el 70% y 90% de su capacidad de trabajo.
- El diseño de los dispositivos de movimiento cumple con el objetivo de realizar una maniobra segura y controlada por parte del operador, toda vez que el mando de control independiente de los gatos hidráulicos proporciona una operación a la velocidad requerida por parte del operador y los ayudantes de la operación. Todos los componentes del sistema de movimiento pueden ser fabricados en el país a excepción de la bomba hidráulica y del gato hidráulico.
- El presupuesto de construcción y montaje de la estructura en estudio está relacionado con materiales y sus respectivos precios del mercado ecuatoriano, de tal manera que esta estructura puede ser construida sin problema en el país, reduciendo de esta manera costos y tiempos de importación.
- Aunque la estructura está diseñada para soportar con seguridad el peso de una dovela completa, esta condición es muy poco probable que ocurra durante el proceso constructivo del puente debido a que, durante el proceso constructivo establecido, se espera que se ensamble la dovela se realice de pieza en pieza secuencialmente y que la superestructura del puente en construcción cargue con al menos el 40% del peso de la dovela en ensamblaje y el peso restante soporte la estructura de montaje.

- La selección del sistema constructivo analizado en el presente trabajo, hace posible la construcción de la superestructura de un puente atirantado conformado por una losa de hormigón sobre vigas metálicas que salve cualquier tipo de accidente, es decir que este método constructivo se puede utilizar para la construcción de un puente que cruce ríos navegables o no navegables, encañonados altos o bajos, gracias a que todas las partes constitutivas de la dovela a instalarse en la superestructura se la ensambla de pieza en pieza en el sitio mismo de montaje definitivo.
- Al ensamblar la dovela de pieza en pieza en su sitio definitivo de instalación, beneficia a diseñar una estructura de montaje más liviana debido a que al utilizar este método de instalación, al menos un 40% del peso de la dovela es cargada por la superestructura del puente ya instalada. El peso de la estructura, al ser más liviana reduce el costo de la estructura y permite tener mayor seguridad durante la operación de la construcción del puente.

5.2 Recomendaciones

- Durante la operación de movimiento se recomienda realizar movimientos suaves y controlados para prevenir inconvenientes de incidentes que pudieran comprometer la seguridad del personal de operación, la estructura de montaje y la superestructura del puente
- Se recomienda incorporar accesorios adicionales a la estructura de montaje como puentes grúa, vigas de soporte temporal y polipastos que faciliten la operación de montaje de las vigas en la superestructura del puente.
- Es recomendable realizar un adecuado control de calidad de materiales y soldadura de tal forma de obtener una estructura segura que pueda operar con los parámetros de diseño establecidos en el presente estudio.

- Se recomienda consultar catálogos comerciales de comercializadoras de equipos hidráulicos para la adquisición de la bomba y gato hidráulico tomando en cuenta el análisis y estudio realizado en el presente trabajo.
- Durante el diseño de la estructura se recomienda realizar consultas de la disponibilidad de los elementos elegidos en los catálogos de las comercializadoras de acero para evitar realizar cambios de secciones durante la construcción de la estructura debido a insuficiencia en el stock de materiales en el proveedor de acero.

5.3 Bibliografía

[1] M. Tech Scholar Masoud Ahmed Khan and A. Dhanesh Khalotia, "A Review on Collapse Behaviour of Cable Stayed Bridge," *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, vol. 8, no. 6.

[2] A. Rahim *et al.*, "Design and application of 9000KN hydraulic lifting cable-borne crane for suspension bridge steel girder erection," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 510, no. 5, p. 052019, Jun. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/510/5/052019.

[3] H. Guo, "Recent Development and Challenges of Long-Span Railway Cable-Stayed Bridges in China", doi: 10.2749/nanjing.2022.0338.

[4] "CONCEIVING OF CABLE-STAYED BRIDGES".

[5] Jahgeol Yoon, Kwang-Min Lee, and Dae-Yong Park, "A Case Study on Concrete Cable Stayed Bridge," *Magazine of the Korea Concrete Institute*, vol. 24, pp. 21–24, Mar. 2012.

[6] M.-W. Lee *et al.*, "Safety Assessment for Upper Part of Floating Crane Considering Minimum Luffing Angle," 2021, doi: 10.3390/app11115104.

[7] Y. Wang, Z. Gao, Z. Zonghui Chen, W. Zhao, J. Shi, and M. Liao, "The design and construction of cable-stayed bridge over Bouregreg River, Morocco," *Bautechnik*, vol. 96, no. 2, pp. 150–159, Feb. 2019, doi: 10.1002/BATE.201800063.

[8] X. Wang, P. Fei, Y. Dong, and C. Wang, “Accelerated Construction of Self-Anchored Suspension Bridge Using Novel Tower-Girder Anchorage Technique,” *Journal of Bridge Engineering*, vol. 24, no. 5, p. 05019006, May 2019, doi: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001383.

[9] X. Wang, Y. Li, and W. Song, “Analysis of a long span cable-stayed suspension hybrid bridge considering variable intermediate side span supports,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1070, no. 1, p. 012039, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1070/1/012039.

[10] K. Zhang, D. Li, H. Liu, X. Xue, and F. Teng, “Construction verification of a cable-stayed arch cooperative bridge in China,” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, vol. 177, no. 5, pp. 371–384, Nov. 2022, doi: 10.1680/JSTBU.22.00029.

[11] S. P. Rajeshirke, Y. R. Suryawanshi, and N. V Khadake, “Comparative Study of Balance Cantilever Bridge and Extradosed Bridge,” vol. 10, 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.43126.

[12] Y. Xiangkun, “A construction process for hoisting, precise positioning and temporary fixation of a steel-concrete composite segment on a long-span steel-concrete hybrid girder,” *Academic Journal of Architecture and Geotechnical Engineering*, vol. 5, no. 3, May 2023, doi: 10.25236/AJAGE.2023.050306.

[13] G. Markovski, M. Docevska, and V. Markelj, “Two new bridges over the river Vardar in Skopje,” *Building Materials and Structures*, vol. 64, pp. 115–129, 2021, doi: 10.5937/GRMK2203115M.

[14] I. Choi Larsen, P. R. Vital Veera, I. Choi, and R. Kasi Viswanath, “Design Development of 9.759km Long Six Lane Extradosed Bridge Project Crossing River Ganga in the State of Bihar, INDIA,” 2018, doi: 10.5592/CO/CETRA.2018.931.

[15] X. Yu and D. Chen, “Design and construction of the Tahya Misr cable-stayed bridge in Cairo, Egypt,” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, vol. 174, no. 2, pp. 79–88, Oct. 2020, doi: 10.1680/JCIEN.20.00014.

[16] B. Tang, X. Wang, Y. Zuo, and Q. Zhang, “Extradosed cable-stayed Pelješac Bridge in Croatia – Fabrication of steel box girders and on-site installation,”

Steel Construction, vol. 15, no. 1, pp. 26–32, Feb. 2022, doi: 10.1002/STCO.202100024.

[17] T. Qi, Q. Yuan, L. Ma, D. Liu, and X. Wang, "Research on Construction Control of Semi Hybrid Steel-concrete Comoposite Cable-stayed Bridge," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 510, no. 5, p. 052096, Jun. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/510/5/052096.

[18] A. Gaute-Alonso, D. Garcia-Sanchez, C. Alonso-Cobo, and I. Calderon-Uriszar-Aldaca, "Temporary cable force monitoring techniques during bridge construction-phase: the Tajo River Viaduct experience," 123AD, doi: 10.1038/s41598-022-11746-z.

[19] J. Eitelberger, P. Herrmann, G. Dorrer, and S. Grubmüller, "Design and Implementation of Installation Works on the New Neuenkamp Highway Bridge over the Rhine in Duisburg Design and Implementation of Installation Works on the New Neuenkamp Highway Bridge over the Rhine in Duisburg Paper ID:62-33", doi: 10.2749/istanbul.2023.0591.

[20] S. A. Rahman, S. Hasibuan, and A. A. Qolby, "Solution of Beam Structure Analysis Using SAP2000," *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST)*, no. 11, pp. 2347–5552, 2023, doi: 10.55524/ijircst.2023.11.1.13.

[21] M. Stascov, V. M. Venghiac, and S. G. Luca, "Nonlinear FEM analysis of steel beam-to-column connections with extended end plate," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 586, no. 1, p. 012026, Aug. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/586/1/012026.

[22] F. Popescu, R. M. Chivu, K. Uzuneanu, and I. Ion, "Design and finite element analysis of a circular steel profile frame using Autodesk Inventor", doi: 10.1088/1757-899X/1262/1/012069.

[23] D. Estebes Yaranga, "Recomendaciones para el modelado no lineal de muros acoplados de hormigon armado con elementos tipo shell y frame mediante un software comercial," Sep. 2019, Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/190116

[24] "Conceptos básicos de rodamientos | SKF | SKF." Accessed: Apr. 30, 2025. [Online]. Available: https://www.skf.com/co/products/rolling-

bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/general-bearing-knowledge/bearing-basics

[25] SKF, *Rodamientos*. 2019.

[26] A. Hamid, “ESTUDIO Y DISEÑO DE UN GATO HIDRÁULICO CON ACCIONAMIENTO ROTATORIO,” Manresa, 2018.

[27] “CILINDROS HIDRAULICOS – GAMATRACTOR | Importación y Comercialización CATERPILLAR repuestos para maquinaria.” Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: https://www.gamatractor.com/site/producto/cilindros-hidraulicos/

[28] D. Underground, “Minería y Construcción de Túneles 2 Contenidos”.

[29] L. Dahua, “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS), PROVENIENTES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU FACTIBILIDAD COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 (NEC 2015),” pp. 10–15, Sep. 2021.

[30] O. E. Piro, “Notas sobre Física General: Resistencia a la rodadura”.

[31] A. Society for Testing, “By Authority Of THE UNITED STATES OF AMERICA Legally Binding Document”.

[32] IPAC, “Enhanced Reader,” IPAC. Accessed: Apr. 24, 2025. [Online]. Available: https://ipac-acero.com/wp-content/uploads/2023/05/CATALOGO-IPAC-NACIONAL.pdf

[33] SKF, “Selección del tamaño basada en la carga estática | SKF | SKF.” Accessed: Apr. 24, 2025. [Online]. Available: https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-static-load

[34] “Bombas Hidráulicas.” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://www.ducasse.cl/web/productos/potencia-hidraulica/352-bombas-hidraulicas

[35] CAMICON, “PRIMERA Y SEGUNDA CATEGORÍA ESTRUCTURA OCUPACIONAL E2 (PRIMERA Y SEGUNDA CATEGORÍA),” pp. 1–3, Jan. 2025.

5.4 Anexos

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Formulario 4

PROPONENTE: Ing. Dorian Jácome

PROYECTO: **CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS**

RUBRO: **Acero estructural ASTM A36** UNIDAD: Kg

DETALLE:

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% de M.O.)		--		1.000	0.09
Soldadora	1.00	2.00	2.00	0.030	0.06
SUBTOTAL M					**0.15**

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CAT.)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro soldador especializado	1.00	4.69	4.69	0.250	1.17
Ayudante en general	1.00	2.65	2.65	0.250	0.66
SUBTOTAL N					**1.84**

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Acero estructural A36	kg	1.050	1.15	1.21
Alambre MIG 1.2mm tubular AWS E71T1	kg	0.050	3.43	0.17
SUBTOTAL O				**1.38**

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	3.37
INDIRECTOS Y UTILIDADAE 15%	0.50
OTROS INDIRECTOS	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	3.87
VALOR OFERTADO	**3.87**

Ing. Dorian Jácome
Proponente

Ambato, mayo de 2025
Lugar y fecha

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Formulario 4

PROPONENTE: Ing. Dorian Jácome

PROYECTO: **CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS**

RUBRO: **Montaje de acero estructural ASTM A36** UNIDAD: Kg

DETALLE:

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% de M.O.)		--		1.000	0.03
Soldadora	1.00	2.00	2.00	0.030	0.06
SUBTOTAL M					**0.09**

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CAT.)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro soldador especializado	1.00	4.69	4.69	0.030	0.14
Ayudante en general	2.00	2.65	5.30	0.030	0.16
Maestro Montador	1.00	3.02	3.02	0.030	0.09
Montador	2.00	4.23	8.46	0.030	0.25
SUBTOTAL N					**0.64**

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Alambre MIG 1.2mm tubular AWS E71T1	kg	0.080	3.43	0.27
SUBTOTAL O				**0.27**

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	1.01
INDIRECTOS Y UTILIDADAE 15%	0.15
OTROS INDIRECTOS	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1.16
VALOR OFERTADO	**1.16**

Ing. Dorian Jácome
Proponente

Ambato, mayo de 2025
Lugar y fecha

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Formulario 4

PROPONENTE: Ing. Dorian Jácome

PROYECTO: **CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS**

RUBRO: **Tableros de madera con borde metálico** UNIDAD: u

DETALLE:

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% de M.O.)	1.00	0.00	0.00		0.10
					0.00
					0.00
					0.00
					0.00
SUBTOTAL M					**0.10**

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CAT.)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Carpintero	1.00	4.23	4.23	0.150	0.63
Ayudante	1.00	4.18	4.18	0.150	0.63
Maestro soldador especializado	1.00	4.69	4.69	0.150	0.70
SUBTOTAL N					**1.97**

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Tablón de eucalipto 2.40 e=5cm	u	6.000	15	90.00
Acero estructural A36	kg	10.000	1.15	11.50
Electrodos E6011	kg	0.500	3.67	1.84
SUBTOTAL O				**103.34**

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	105.40
INDIRECTOS Y UTILIDADAE 15%	
OTROS INDIRECTOS	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	105.40
VALOR OFERTADO	**105.40**

Ing. Dorian Jácome
Proponente

Ambato, mayo de 2025
Lugar y fecha

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Formulario 4

PROPONENTE: Ing. Dorian Jácome

PROYECTO: **CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS**

RUBRO: **Barras helicoidales DSI** UNIDAD: ml

DETALLE:

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% de M.O.)	1.00	--		0.020	0.02
SUBTOTAL M					**0.02**

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CAT.)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Montador	1.00	4.23	4.23	0.030	0.13
Ayudante	1.00	4.18	4.18	0.060	0.25
SUBTOTAL N					**0.38**

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Barra DSI D=25mm	ml	1.000	8	8.00
SUBTOTAL O				**8.00**

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	8.40
INDIRECTOS Y UTILIDADAE 15%	1.26
OTROS INDIRECTOS	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	9.66
VALOR OFERTADO	**9.66**

Ing. Dorian Jácome
Proponente

Ambato, mayo de 2025
Lugar y fecha

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Formulario 4

PROPONENTE: Ing. Dorian Jácome Hoja 5 de 6

PROYECTO: **CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS**

RUBRO: **Rodillo** UNIDAD: u

DETALLE:

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% de M.O.)	1.00	--		0.020	2.20
Equipo de soldadura	1.00	2.80	2.80	4.000	11.20
Equipo de oxicorte	1.00	1.00	1.00	2.000	2.00
SUBTOTAL M					**15.40**

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CAT.)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Montador	1.00	4.23	4.23	2.000	8.46
Ayudante	1.00	4.18	4.18	4.000	16.72
Maestro soldador especializado	1.00	4.69	4.69	4.000	18.76
SUBTOTAL N					**43.94**

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Oxígeno	m3	0.500	5	2.50
Acero estructural A36	kg	35.000	1.15	40.25
Gas propano	kg	2.000	1.35	2.70
Alambre MIG 1.2mm tubular AWS E71T1	kg	5.000	3.43	17.15
Acero de transmisión	Kg	5.000	2.5	12.50
Rodamiento SKF 6410	U	2.000	35	70.00
Tubo redondo 145mm e= 10mm	ml	0.25	18	4.50
SUBTOTAL O				**149.60**

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	208.94
INDIRECTOS Y UTILIDADAE 15%	31.34
OTROS INDIRECTOS	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	240.28
VALOR OFERTADO	**240.28**

Ing. Dorian Jácome
Proponente

Ambato, mayo de 2025
Lugar y fecha

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Formulario 4

PROPONENTE: Ing. Dorian Jácome Hoja 6 de 6

PROYECTO: **CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MONTAJE PARA PUENTES ATIRANTADOS**

RUBRO: **Equipo de impulsión** UNIDAD: glb

DETALLE:

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% de M.O.)	1.00	--		0.020	0.84
SUBTOTAL M					**0.84**

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CAT.)	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Montador	1.00	4.23	4.23	2.000	8.46
Ayudante	1.00	4.18	4.18	2.000	8.36
SUBTOTAL N					**16.82**

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Gato hidráilico	u	2.000	1500	3000.00
Bomba hidráulica 2 mandos individuales	u	1.000	3000	3000.00
Manguera Hidráulica 1/2"	m	40.000	25	1000.00
SUBTOTAL O				**7000.00**

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)		7017.66
INDIRECTOS Y UTILIDADAE	15%	1052.65
OTROS INDIRECTOS		
COSTO TOTAL DEL RUBRO		8070.31
VALOR OFERTADO		**8070.31**

Ing. Dorian Jácome
Proponente

Ambato, mayo de 2025
Lugar y fecha