UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo
a la obtención del título
de Ingeniero Mecánico

PROYECTO TÉCNICO

"DISEÑO DE UNA PLATAFORMA SUSPENDIDA DE NIVEL VARIABLE Y DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL PARA REALIZAR TRABAJOS DE MANTENIMIENTO EN FACHADAS DE EDIFICIOS"

Autores:

Paul Santiago Barros Muñoz
Manuel David Bautista Paredes

Tutor:

Ing. Nelson Gustavo Jara Cobos, PhD.

Cuenca - Ecuador

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Paul Santiago Barros Muñoz con documento de identificación N° 0105512875 y Manuel David Bautista Paredes con documento de identificación N° 0105549752, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **"DISEÑO DE UNA PLATAFORMA SUSPENDIDA DE NIVEL VARIABLE Y DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL PARA REALIZAR TRABAJOS DE MANTENIMIENTO EN FACHADAS DE EDIFICIOS"**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2019

Paul Santiago Barros Muñoz
C.I.: 010551287-5

Manuel David Bautista Paredes
C.I.: 010554975-2

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **"DISEÑO DE UNA PLATAFORMA SUSPENDIDA DE NIVEL VARIABLE Y DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL PARA REALIZAR TRABAJOS DE MANTENIMIENTO EN FACHADAS DE EDIFICIOS"**, realizado por Paul Santiago Barros Muñoz y Manuel David Bautista Paredes, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2019

Ing. Jara Cobos Nelson Gustavo, PhD.
C.I.: 0102679644

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Paul Santiago Barros Muñoz con documento de identificación N° 0105512875 y Manuel David Bautista Paredes con documento de identificación N° 0105549752, autores del trabajo de titulación: **"DISEÑO DE UNA PLATAFORMA SUSPENDIDA DE NIVEL VARIABLE Y DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL PARA REALIZAR TRABAJOS DE MANTENIMIENTO EN FACHADAS DE EDIFICIOS"** certificamos que el total contenido del P*royecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2019

Paul Santiago Barros Muñoz
C.I.: 010551287-5

Manuel David Bautista Paredes
C.I.: 010554975-2

DEDICATORIA

Nuestro tiempo, esfuerzo, dedicación y constancia dedicamos principalmente a nuestros padres quienes, gracias a su trabajo digno, nos dieron la oportunidad de acceder a un estudio universitario y a su vez conseguir un título profesional, el mismo que suma a nuestra vida como una herramienta útil para desenvolvernos en la vida laboral y ser un aporte positivo en la sociedad.

No podemos olvidarnos de nuestra familia como son esposas e hijos, ya que fueron apoyo incondicional y motivación para alcanzar esta meta. Se culmina un objetivo planteado y se empiezan a ejecutar otros.

AGRADECIMIENTOS

Sin duda debemos agradecer a un ser supremo que nos regala siempre un nuevo despertar para poner en marcha nuestros planes día a día, de la misma manera queremos agradecer a nuestros padres por ser nuestros primeros maestros, por inculcarnos buenos valores y lecciones de vida que hoy ponemos en práctica diariamente y también por sembrar en nosotros la semilla de la educación.

El agradecemos a nuestras compañeras de vida por la paciencia, por su apoyo, por su compañía y motivación para avanzar en el camino hacia esta meta, gracias por su labor de esposas, madres y amigas.

RESUMEN

El sector de la construcción tiene un crecimiento directamente proporcional al crecimiento poblacional en los últimos años de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), a esto se le añade que la tendencia en los proyectos de vivienda son las de clase multifamiliar, es decir edificios con tres o más plantas que dan cabida a la estadía de varias familias o son de uso comercial.

Llevando a cabo una investigación minuciosa de las principales necesidades dentro de este sector potencialmente económico, el cual es la actividad de la construcción, se llega a plantear dos requerimientos importantes como son: la seguridad a los operarios en los trabajos de altura y estabilidad de los Andamios, estos requerimientos son fundamentales para el desarrollo de trabajos en edificios que sobrepasan las tres plantas, pero sin embargo no son tomados en cuenta con la relevancia e importancia, sabiendo el alto riesgo que el uso de andamios implica.

En este sentido y con la intención de cumplir los objetivos, se procede a realizar en primera instancia una revisión de información en cuanto a normas de seguridad, construcción, diseño y ensayos de maquinaria para trabajos en altura, en vista de que en el Ecuador no existen normas en distintos temas relacionados a plataformas suspendidas de nivel variable y desplazamiento normativa estandarizada internacionalmente sobre todo aquella que tiene procedencia Europea y Chilena, con estos insumos se procede a trabajar con la propuesta de diseño de andamios que primordialmente prioricen la seguridad del operario y a su vez sea una herramienta útil para los profesionales de la construcción en trabajos de altura como la limpieza de vidrios, acabados de la construcción y mantenimiento de la fachada de un edificio.

Los resultados obtenidos en el diseño de una plataforma suspendida, están basados en normativas las mismas que son guías para garantizar seguridad y estabilidad en la uso de los mismos. Además existe una validación computacional en los procesos de diseño que compruebe la efectividad de los factores de seguridad usados en el cálculo de la resistencia de la estructura y sus elementos.

ABSTRACT

The construction sector has a growth directly proportional to the population growth in recent years according to the Ecuadorian Construction Standard (NEC), to this is added that the trend in housing projects are multi-family class, it is say buildings with three or more floors that accommodate the stay of several families or are for commercial use.

Carrying out a meticulous observation of the main needs within this potentially economic sector, we get to raise two requirements such as: the safety to the workers in the work of height and stability of the Scaffolding, these requirements are fundamental for the development of works in buildings that exceed three floors, but nevertheless they are not taken into account with the relevance and importance, knowing the high risk that the use of scaffolding implies.

In this sense and with the intention of meeting the objectives, we proceed in the first instance a review of information regarding security standards, construction, design and testing of machinery for work at height, in view of the fact that in Ecuador There are rules on different topics related to suspended platforms of variable level and horizontal displacement to perform maintenance work on facades of buildings, it is decided to consider internationally standardized regulations especially those of European and Chilean origin, with these inputs we proceed to work with the design proposal of scaffolding that primarily prioritize the safety of the operator and in turn is a useful tool for construction professionals in high-altitude work such as glass cleaning, construction finishes and maintenance of the facade of a building.

The results obtained in the design of a suspended platform, are based on regulations that are guidelines to ensure safety and stability in their use. There is also a computational validation in the design processes that checks the effectiveness of the safety factors used in the calculation of the strength of the structure and its elements.

CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR ii

CERTIFICACIÓN iii

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD iv

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTOS vi

RESUMEN vii

ABSTRACT viii

Diseño de una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal para realizar trabajos de mantenimiento en fachadas de edificios. - 11 -

1. Introducción - 11 -

2. Planteamiento del problema - 13 -

2.1. Antecedentes - 13 -

3. Importancia y Alcance - 13 -

3.1 Problema General - 14 -

3.2 Problemas Específicos - 14 -

4. Objetivos - 15 -

4.1 Objetivo General - 15 -

4.2 Objetivos Específicos - 15 -

5. Marco teórico - 15 -

5.1 Andamios - 15 -

5.2 Resistencia y estabilidad - 22 -

5.3 Seguridad en el montaje, utilización y desmontaje. - 22 -

5.4 Normativa - 23 -

6. Diseño de una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal. - 38 -

6.1 Elementos de Análisis - 38 -

6.2 Pescante - 38 -

6.3 Cable para izaje - 43 -

6.4 Riel de desplazamiento horizontal - 45 -

6.5 Contrapesos - 50 -

6.6 Plataforma o canastilla - 51 -

6.7 Caja de Control - 54 -

6.8 Conjunto - 54 -

7. Validación del diseño de elementos para el sistema de andamios colgantes a través de Ansys® - Static Structural - 55 -

7.1 Pescante - 55 -

7.2 Procedimiento para el análisis en Ansys - Static Structure - 55 -

7.3 Engineering Data - 56 -

7.4 Geometry - 56 -

7.5 Model - 57 -

7.6 Esfuerzo máximo - 58 -

7.7 Deflexión máxima - 59 -

7.8 Riel - 59 -

7.9 Engineering Data - 60 -

7.10 Geometry - 60 -

7.11 Model - 61 -

8. Resultados - 63 -

8.1 Pescante - 63 -

8.2 Riel - 64 -

9. Factores de Temperatura - 65 -

10. Costos de fabricación - 65 -

10.1 Conjunto de apoyo y estabilidad del andamio colgante - 65 -

10.2 Riel de traslación horizontal - 68 -

10.3 Plataforma - 69 -

10.4 Aparejo de elevación y traslación - 70 -

11. Planos y particulares - 71 -

12. Conclusiones - 71 -

13. Recomendaciones - 72 -

Bibliografía 74

Anexo 1: Cable Cobra - Prodinsa 76

Anexo 2: Tubería Rectangular – IPAC 77

Anexo 3: Ficha técnica motorreductor de tornillo sinfín 78

Anexo 4: Proforma de andamio colgante de desplazamiento únicamente vertical. 79

Anexo 5: Planos y particulares 80

Diseño de una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal para realizar trabajos de mantenimiento en fachadas de edificios.

1. Introducción

Los expertos en el ámbito del mantenimiento de edificaciones y sus instalaciones, consideran fundamental el mantenimiento preventivo y gestión preventiva de las fachadas de los mismos, por ello los profesionales de la construcción sugieren planes de acción periódicas en cada instalación. De esta manera se resuelve anticipadamente defectos que eviten trastornos posteriores, previniendo que se desarrollen o generen fallos que se deriven en hechos menos deseados.

Para el mantenimiento de la fachada de un edificio, se requiere acceder a sus diferentes márgenes (paredes) que presenta dicha fachada, por lo que se requiere el uso de andamios para facilitar el trabajo a los operarios del mantenimiento de fachadas de edificios, por ello a la hora de elegir estos sistemas se debe tener en cuenta los distintos tipos de opciones que permiten realizar las tareas requeridas.

Las plataforma suspendida de nivel variable (PSNV) o andamios colgantes se utilizan en estructuras o edificios altos situados en calles de mucha circulación, o en otras circunstancias en aquellos lugares que no es factible o económico elegir un andamiaje desde el suelo.

Para la implementación de nuevos métodos de elevación en trabajos de altura se toman datos del sector de la construcción, según la INEC para el 2015 se emitieron 28.379 permisos de construcción en el Ecuador, distribuidos en distintas ciudades, como se puede ver en la Figura 1.

Figura 1. Número de permisos de construcción de edificaciones de más de 4 plantas emitidos hasta el año 2015 y clasificados por ciudad [1]

Del tipo de cubierta que posea la edificación depende el tipo de instalación de andamios que se seleccione, es importante considerar también que los operarios y operadores deben estar debidamente capacitados para la realización de trabajos de mantenimiento en fachadas de edificios.

En la Figura 2, se puede observar los materiales utilizados en cubiertas de edificios, en donde la INEC presenta una tendencia del 54,2% de cubiertas planas de hormigón armado utilizadas para la construcción de edificaciones de más de 3 plantas en el Ecuador [1].

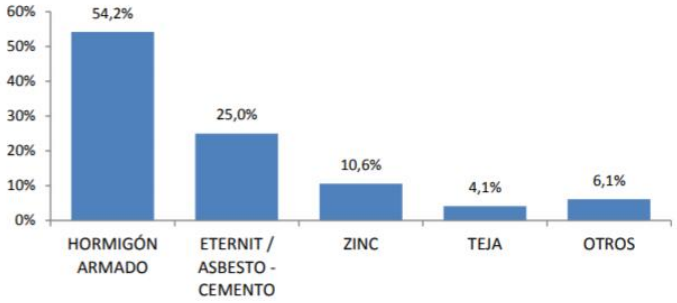


Figura 2. Material utilizado en cubiertas por permiso de construcción [1]

De acuerdo a la información de la INEC del total de permisos emitidos para construcciones, el 88,6% fueron para levantar edificaciones nuevas, de las cuales 15% fueron multifamiliares (tres o más familias) y el 4,8% para el sector comercial [1]. El principal uso de las edificaciones reportado en los permisos de construcción, es para residencias de una familia con 17.693 permisos (62,3%), seguido por tres o más familias con 4.271 permisos y dos familias 2.694.

Los usos no residenciales y otros usos corresponden al 7,7% del total de permisos, es de decir 2.180, donde el uso comercial es el de mayor representación con 4,8% del total de permisos y 62,1% del total de permisos no residenciales con 1.354. Las edificaciones mixtas, es decir de construcciones con finalidades residenciales y no residenciales, representan 1.541 permisos de construcción (ver Figura 3) [1].

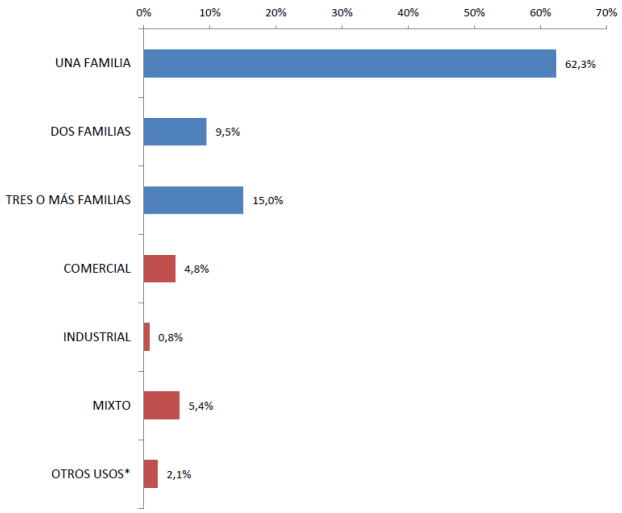


Figura 3. Permisos de construcción según uso de la edificación [1]

2. Planteamiento del problema

2.1. Antecedentes

En la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, en base a un proceso investigativo y consulta directa a fuentes primarias, se ha determinado que existen la siguiente cantidad de edificios que poseen desde 4 plantas en adelante:

Centro histórico

- Edificaciones de cuatro plantas: 639
- Edificaciones mayores a 5 plantas: 389

Se acude a datos estadísticos presentados por la INEC en el 2015, en la cual se detalla que el cantón de Cuenca fue el lugar en donde se emitió la mayor cantidad de permisos de construcción; después de que el Ecuador sintió una caída en las actividades de la construcción a causa de la subida de aranceles decretados en el país. Existe una variación positiva en el año 2015 respecto al 2014, se presenta en las edificaciones tipo mixtas con un 27,8%; seguido por las construcciones no residenciales con 4,6%; y las residenciales con 3,1% (ver Figura 4) [5].

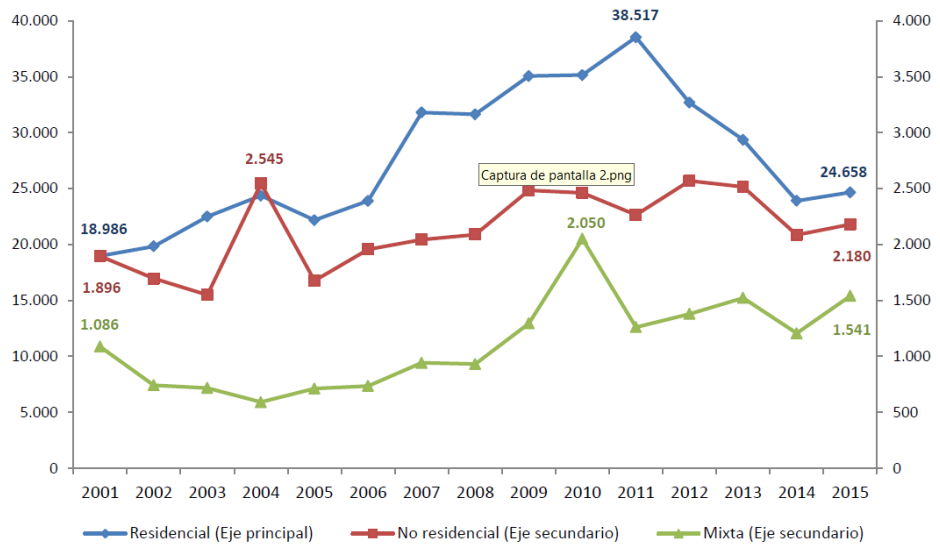


Figura 4. Permisos de construcción según propósito: Residencial, No residencial y Mixta [1]

3. Importancia y Alcance

Es importante tomar en cuenta, que una construcción mayor a tres plantas es considerada un edificio o técnicamente una construcción gruesa, misma que para la ejecución de trabajos de mantenimiento en fachada se requiere como mínimo una estructura de andamios tubulares, tomando en cuenta fundamentalmente su bajo costo, facilidad de montaje y accesibilidad para el desplazamiento por el exterior del edificio, sin embargo esto cambia radicalmente cuando se trata de un edificio de 4 y más plantas, para los cuales las actividades de mantenimiento en fachada se vuelven riesgosas por la altura, por ello se requiere implementar un sistema de andamiaje donde

se suspenda al operario, teniendo en cuenta que su seguridad es lo más importante además que el andamio debe prestar seguridad en su uso y versatilidad en el desplazamiento, mismo que debería ser automatizado para que permita trasladar al operario en direcciones verticales y horizontales en el menor tiempo posible.

Además del proceso de investigación del número de edificaciones desarrollado, se procedió también buscar información adicional en distintos temas como procesos de mantenimiento, costos, implementos, métodos y herramientas, utilizados en la ciudad de Cuenca. A continuación, se presenta algunos detalles resultantes de esta investigación:

1. Solo una empresa en la localidad denominada DIMPLOS, se dedica a realizar limpieza de vidrios de fachada de edificios, para lo cual utilizan un sistema de andamiaje colgante, mismo que en su totalidad es manual.
2. Varias empresas de la localidad que se dedican al mantenimiento de fachadas no cuentan con protocolos de seguridad para la instalación y operación de sus equipos.
3. Las empresas de mantenimiento de fachadas no se rigen a normas que prioricen la seguridad y vida del operario.
4. Los administradores y/o propietarios de los edificios se rigen a un plan de mantenimiento de la fachada de sus construcciones que considera una frecuencia de 5 años, sin embargo, se ha determinado que los usuarios de los edificios presentan requerimientos con frecuencias mucho menores.
5. Los costos aproximados de mantenimiento de fachadas de edificios en la ciudad de Cuenca están por el orden de 3 mil dólares a 8 mil dólares.

3.1 Problema General

¿Es técnica y económicamente posible utilizar una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal que se adapte a las características generales que presentan los edificios de la ciudad de Cuenca y que cumplan normas de diseño y seguridad a fin de realizar trabajos de mantenimiento en sus fachadas?

3.2 Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los estándares establecidos para el requerimiento de diseño de plataformas suspendidas de nivel variable y desplazamiento horizontal en Ecuador?
- ¿Se puede determinar un diseño idóneo de plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal que cumpla normas de funcionamiento y seguridad laboral?
- ¿Se puede validar el diseño propuesto de plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal el cual cumpla las normativas de funcionamiento y seguridad laboral en Ecuador?

- ¿Es económicamente rentable la implementación de un sistema de plataforma suspendida para el mantenimiento de la fachada de edificio en la Ciudad de Cuenca?

4. Objetivos

Este trabajo tiene un enfoque social y el grupo objetivo al que va dirigido es principalmente a la población universitaria, que su vez al trabajar con instituciones gubernamentales, generar nuevas estrategias y metodologías de desarrollo sustentable en cuanto a una nueva propuesta de innovación en el sector de la construcción, planteamientos que beneficiaran a las distintas familias ecuatorianas.

4.1 Objetivo General

Diseñar una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal para el mantenimiento de fachadas de edificios de acuerdo a normas y estándares utilizados en Ecuador.

4.2 Objetivos Específicos

- Establecer los estándares requeridos para diseño de plataformas suspendidas de nivel variable y desplazamiento horizontal en Ecuador.
- Diseñar una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal el cual cumpla las normativas de funcionamiento y seguridad laboral en Ecuador.
- Validar el diseño propuesto y optimización de una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal el cual cumpla las normativas de funcionamiento y seguridad laboral en Ecuador.
- Determinar si es económicamente rentable la implementación de un sistema de plataforma suspendida para el mantenimiento de la fachada de edificios en la Ciudad de Cuenca.

5. Marco teórico

5.1 Andamios

5.1.1 Aspectos importantes, selección y requisitos generales

Se conoce como andamios de trabajo a los elementos temporales que son capaces de facilitar el acceso hacia los lugares de trabajo y disminuir riesgos laborales en trabajos de construcción, mantenimiento, reparación o demolición de edificios y otras estructuras a una altura inalcanzable para un hombre de pie.

Los trabajos de construcción son diversos por lo que se requiere determinar el tipo de andamio que se debería emplear de acuerdo a las condiciones de trabajo que se van a ejecutar, así se procedería a instalar un tipo de andamio que entregue condiciones de seguridad óptimas, además se debe considerar las dimensiones de la plataforma de trabajo y las vías de traslado (horizontal y vertical), las cuales son determinadas por aspectos tales como la permanencia de trabajadores

en el andamio, geometría de la construcción, tipo de trabajo a realizar y los materiales necesarios que se trasladaran conjuntamente con los operarios.

El entorno en el que se deba ejecutar el trabajo define el tipo de andamio, los aspectos que se deben tomar en cuenta son las características del terreno en cuanto a estabilidad y desniveles, el tipo de cubierta o terraza abrirá la posibilidades de suspender el andamio y las zonas que presentan restricciones de acceso deberán ser analizadas tales como los arrostramientos, tendido eléctrico, vientos, altura, etc.

También se debe tomar en cuenta el tiempo que se tendrá instalado el andamio para realizar el trabajo, se deberá conocer la magnitud del proceso a ejecutar para proceder a anclar un andamio tubular con diferentes niveles o de lo contrario un andamio suspendido de desplazamiento variable acortará tiempo en ciertas funciones como limpieza, inspección y mantenimiento.

A continuación se presenta una clasificación detallada de los diversos tipos de andamios

5.1.2 Andamios tubulares

Los andamios tubulares se encuentran conformados por sistemas modulares los cuales son componentes prefabricados, estos se pueden interconectar entre sí de forma unidireccional. Están compuestos por un elemento principal que son los marcos metálicos prefabricados, los cuales soportan las distintas plataformas de trabajo situadas a diferentes alturas dentro de los mismos, estos están ensamblados mediante largueros horizontales y diagonales formando una estructura sólida [2].

Constituyen un conjunto estable y adaptable, el mismo que permite rodear íntegramente las fachadas de todo tipo de construcciones, adaptándose a estas de manera plana y uniforme. Facilitando plataformas de trabajo y acceso seguro para la ejecución de trabajos de rehabilitación, conservación y trabajos de albañilería.

Su gran capacidad y su gran maniobrabilidad lo convierten en el recomendable para el constructor, resiste fuertes cargas, al terminar los trabajos de apuntalamiento sirve para ejecutar trabajos de albañilería y acabados, este mismo equipo sirve para hacer torres de trabajo rodantes y fijas, torres con escaleras para acceso de personal y materiales debido a sus dimensiones, que le permiten al usuario tener una mayor área de trabajo así mismo su base le brinda mayor estabilidad [3].

Actualmente son, probablemente, el tipo de andamios más empleados en la construcción por lo que a su vez estos pueden subdividirse en 3 tipos de andamios:

a. Andamio de marco cerrado (Andamio Resistente)

Fabricada en estructura tubular de gran capacidad y fácil maniobrabilidad además de ofrecer resistencia a grandes cargas, recomendable para el constructor en el uso para apuntalamiento y labores de albañilería (ver Figura 5).

Figura 5. Uso de andamio resistente en mantenimiento de fachada en Centro Histórico Cuenca. [Fuente: Autores]

En la Figura 6, se puede observar las dimensiones más usuales de este tipo de andamios.

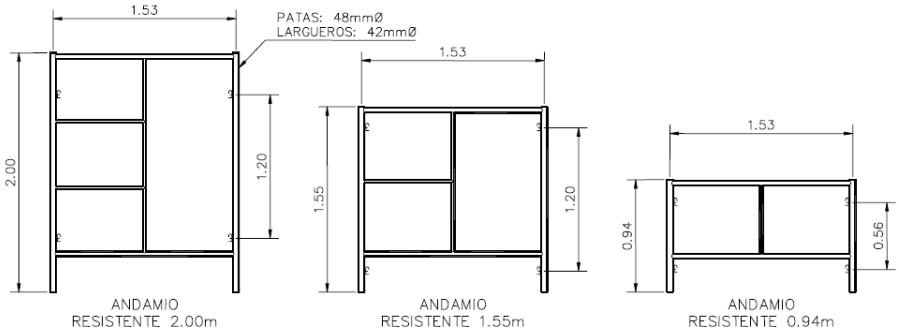


Figura 6. Dimensiones de un andamio resistente [3]

b. Andamio de marco abierto

Este tipo de andamio utiliza una junta con la línea de andamio tubular, ya que tienen las mismas características y con la particularidad de que sirven para crear pasos peatonales a través del andamio. Este equipo aparte de servir como paso peatonal y cubrir a los peatones de la caída de escombros se puede utilizar como una torre para realizar acabados en la fachada (ver Figura 7)

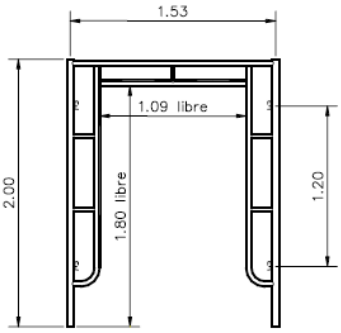


Figura 7. Andamio tubular de marco abierto [3]

c. Andamio de alta resistencia

Los andamios de alta resistencia, son fabricados con estructura tubular mayor que los 2 equipos anteriores, por lo que cuenta con una capacidad de carga mayor, este equipo es utilizado para apuntalar losas y trabes de gran peralte, así como soportar cargas a grandes alturas [3] (ver Figura 8).

Figura 8. Uso de andamio de alta resistente en apuntalamiento de losa [3]

5.1.3 Andamios de cremallera

El equipo auxiliar diseñado para el desplazamiento en vertical de una o más personas junto con sus equipos y materiales de trabajo, hasta la zona de trabajo y desde un punto único de acceso. Es conocido como plataforma de trabajo desplazable sobre mástil, conocidos por las características de su estructura como "andamios de cremallera".

Estos equipos de trabajo son de carácter temporal, ya que una vez finalizadas los trabajos para los que se emplearon, son retirados. Pueden estar formados por uno o varios mástiles que se instalan sobre un carro base, lo que asegura el anclaje de los mástiles y el conjunto de elección, y están diseñados con un sistema de piñón cremallera a lo largo de la columna por la que se desplaza el chasis. Encima de esta plataforma pueden realizar diversos trabajos gracias a su desplazamiento vertical y su adaptabilidad en cuanto a longitud y profundidad.

Este tipo de andamios se emplea como media auxiliar en ejecución de fachadas, trabajos de mantenimiento y reparación de las mismas, trabajos de rehabilitación etc. Permite el desplazamiento en vertical de personas y equipos con rapidez y sencillez [2] (ver Figura 9).

Figura 9. Uso de andamio de cremallera dentro de una construcción [2]

5.1.4 Andamios colgantes

Son considerados una estructura provisional, la cual cuenta con una plataforma de trabajo horizontal suspendida a través de cables de acero de un elemento resistente de sujeción llamado pescante, se desplaza a través de un mecanismo de ascenso y descenso**.**

Existen dos clases de plataforma en función del mecanismo de elevación utilizado, los andamios colgados de accionamiento manual, los cuales se manipula con una manivela deslizando el cable en su interior, para esto se requiere el total esfuerzo de los operadores, y los de accionamiento motorizado, tienen dos motores en cada lado de la canastilla del andamio y panel de control que con sus mandos de dirección respectiva.

Este tipo de andamio tienen la función de agilitar trabajos de construcción y mantenimiento de fachadas en alturas, teniendo la posibilidad de desplazarse vertical y horizontalmente, de acuerdo del tipo de andamio colgante que se disponga, este tipo de sistema remplazaría la opción de colocar una gran cantidad de andamios de tipo tubulares (ver Figura 10).

Figura 10. Uso de andamio colgante dentro de una construcción [4]

Los elementos principales que conforman un andamio colgante, se describen a continuación:

a. Pescante

Es el elemento situado en la cubierta o parte superior del edificio, en el que se engancha el cable del que se suspende la plataforma y el cable de seguridad y que queda fijado al edificio mediante anclajes o contrapesos. Estos están compuestos por la pluma que es la parte del voladizo, situado en el lado de la fachada del edificio con relación a la línea de vuelco. La cola es la parte entre apoyos, situado en el lado inferior del edificio con relación a la línea de vuelco, y el caballete el cual es el componente que sirve de apoyo al pescante cuando tiene que elevar la altura del antepecho [4].

Existen 2 tipos de pescantes:

- **Pescante de cola anclado al forjado**

Estructura cuya estabilidad está asegurada por un anclaje mecánico, perforando el forjado, realizándose un orificio por el que se pasa una varilla roscada que se engancha al extremo o cola del pescante mediante una arandela, una tuerca y una contratuerca [4].

- **Pescante de contrapeso**

Es una viga estática cuya estabilidad está asegurada por contrapesos. En el caso que no se pueda realizar perforación en el suelo, se puede contrapesar el pescante con una base metálica que sujeta al contrapeso, una masa fijada a la estructura de suspensión para equilibrar el momento de vuelvo [4].

b. Plataforma

También conocida como canastilla, esta conforma la superficie de trabajo, constituida por una plataforma rodeada por barandillas de al menos 1 m de altura con una baranda intermedia a 0,45 o 0,5 m y rodapiés que evitan la caída de materiales y personal. La longitud varía entre fabricantes de 2m a 5m, siendo la más común y aconsejable de 3m y una anchura mínima de 0.6m. Son fabricadas en estructura metálica de acero al carbón o aluminio con piso de madera o lámina que evitar los resbalones [3].

c. Elementos de elevación

Los dispositivos de elevación más comunes en este tipo de andamios son aparejos mecánicos, con funcionamiento manual o eléctrico:

Los aparejos manuales pueden ser básicamente de dos tipos: el primero se lo conoce como sistema de tambor ya que cuenta con un tambor en donde se enreda el cable de acero, este sistema tiene una limitante, no posee la capacidad para almacenamiento de cable lo cual limita

la altura de utilización del andamio. El segundo es un sistema tipo mordazas, estos no almacenan cable en su interior lo cual no poseen restricciones de altura [3].

Los aparejos eléctricos cuentan con un motor de elevación situado en los extremos de la plataforma al igual que los anteriores, en ese sistema el cable de trabajo es transportado gracias a un mecanismo de arrastre por rozamiento entre el cable y el sistema mecánico de tracción [5].

d. Cables de acero

Estos son elementos auxiliares anclados en el pescante, sirven para que se desplace la plataforma en sentido vertical. Existe un segundo cable que hace la función de cable de seguridad, este entra en funcionamiento cuando existe una rotura del cable principal [6].

5.1.5 Andamios multidireccionales

El sistema de andamio multidireccional aparece en la década de 1970 como complemento o reemplazo en algunos casos de andamios tubulares [3], dado que los mismos no cumplen con los requerimientos técnicos o de seguridad en el montaje.

Su técnica de 8 uniones, nos permite conectar elementos cada 45º con la certeza de generar ángulos exactos, además de que posee conexiones cada 50 centímetros, la cual nos permite trabajar a cualquier elevación [3] . Están constituidos comúnmente por marcos, barandillas y diagonales. Para la estructura de este tipo de andamio se emplea materiales tales como aluminio o aluminio, el mismo que se utiliza en las plataformas y rodapiés.

Su aplicación es indistinta ya que se los puede encontrar en construcciones de edificaciones, mantenimiento de fachadas, industria, parte de escenarios en espectáculos, entre otros (ver Figura 11).

Figura 11. Uso de andamios multidireccionales dentro de una construcción en Cuenca [Fuente: Autores]

5.2 Resistencia y estabilidad

En las diferentes etapas de la construcción, la resistencia y estabilidad del andamio son las variables que determinan la seguridad del operador y la versatilidad en el desenvolvimiento de los trabajos que realizan los operadores sobre los mismos. En la Tabla 1 se pueden observar algunas recomendaciones del tipo de trabajo para cada uno de los tipos de andamios revisados.

Tabla 1. Recomendación del tipo de trabajo [Fuente: Autores]

	Factor de análisis	**Tipos de andamio**			
		Tubulares	***Cremallera***	***Colgantes***	***Multidirec.***
1	Resistencia	x	x	x	x
2	Estabilidad		x		x
3	Durabilidad	x	x	x	x
4	Maniobrabilidad		x	x	
5	Requiere supervisión para su instalación y uso.		x	x	x
6	Facilidad montaje, almacenaje y transporte.	x		x	x
7	Versatilidad en su peso	x			
8	Facilidad de desplazamiento del operario.		x	x	x
9	Seguridad para trabajos en altura.		x	x	x
10	Ayuda en el acceso a lugares dificultosos por geometría de la edificación.			x	
11	Disminuye el riesgo de caídas del operador.		x	x	x
12	Efectivos en trabajos de altura		x	x	

5.3 Seguridad en el montaje, utilización y desmontaje.

Como se pudo observar existen diferentes tipos de andamios los cuales tienen una función en común, la cual es darle el alcance necesario para realizar sus trabajos respectivos en las alturas, en vista que en la región no se tiene información técnica necesaria para fabricar equipos de andamiaje y una carencia de legislación en la rama de seguridad, fabricación y normas de utilización de andamios.

Existen diferentes situaciones dentro de la utilización de un andamio que aumenta el riesgo de accidentes, los mismos que lo vuelve un andamio complejo [2], los andamios complejos son:

- Las plataformas de nivel variables o andamios colgados, ya sean de accionamiento manual y motorizado.
- Andamios de cremallera.
- Torres de andamios tubulares que sobrepasan los seis metros de altura desde el punto de trabajo al suelo.
- Andamios colocados sobre azoteas, cúpulas, tejados o estructuras superiores cuya distancia entre el nivel de apoyo y el nivel del suelo excedan los veinte y cuatro metros de altura [2].

Antes estas situaciones de riesgo se toman las siguientes medidas:

- Seguir a cabalidad las instrucciones del fabricante, proveedor o suministrador, en el caso de tenerlos.
- La empresa está en la obligación de trabajar con equipos de andamiaje que presten toda la seguridad a sus operarios, además de capacitar a su personal para disminuir las probabilidades de tragedia en las alturas.
- Una persona con formación profesional deberá supervisar y dirigir el montaje, desmontaje y utilización.
- En el caso de tener un plan de montaje de montaje, desmontaje y utilización, la supervisión y dirección de los trabajo a fines se realizaran por un encargado con la experiencia de más de dos años en trabajos de alturas y en el uso de andamios, además de tener una formación básica en prevención de riesgos laborales [2].
- Los trabajadores deben estar en la capacidad de comprender el plan de montaje, desmontaje o modificaciones.
- Las condiciones meteorológicas como vientos y lluvia son un factor de riesgo dentro de los trabajos de altura, de acuerdo a estas condiciones el supervisor tomará las medidas necesarias.
- Tomar en cuenta las medidas de seguridad y prevención de caídas de personas y objetos, y cualquier riesgo asociado a estos.

5.4 Normativa

A nivel nacional no existe información detallada respecto a seguridad, higiene, diseño o montaje vinculado con andamios, para ello se presenta ciertas normas y legislaciones Europeas, donde su uso es imprescindible para evitar riesgos laborales y fallas técnicas durante su fabricación, montaje y manipulación del mismo, a su vez se aclara la visión de diseño frente a su ejecución.

5.4.1 Notas técnicas de prevención (NTP) – España

Son una colección de notas iniciadas en 1982 con la finalidad de convertirse en un manual de consulta indispensable para todo fiscalizador y obedece al propósito del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) entidad que tiene como misión de realizar constantemente un análisis, estudio, promoción y apoyo a la mejora de condiciones de seguridad y salud en el trabajo tanto nacional como internacionalmente.

Los profesionales de prevención de riesgos laborales acuden a esta herramienta técnica de consulta NTP, los cuales son documentos guías que pretenden apoyar al cumplimiento de las obligaciones, siendo un facilitador de la aplicación técnica de las exigencias legales que se encuentran en rigor, ya sean estas normas estatales, autónomas o de la administración local.

A continuación se presentan algunas de la NPT más utilizadas

5.4.2 NTP 530 – Andamios Colgados Móviles de Accionamiento Manual (I): Normas Constructivas:

Técnicamente los andamios colgantes móviles son construcciones suspendidas de cables para su desplazamiento vertical en el exterior de una edificación mediante un mecanismo de ascenso y descenso accionado manualmente. La NTP 530 menciona los siguientes factores de riesgo y sus causas en las distintas fases de montaje y utilización del andamio colgado móvil:

Bascula miento o caída de la plataforma de trabajo: Es causada por sobrecarga estática o dinámica, inestabilidad del dispositivo de amarre, escasa resistencia de los elementos de suspensión y maniobra, mantenimiento inadecuado, por último, falla del dispositivo anticaídas.

Rotura de la plataforma: Se origina en la sobrecarga estática o dinámica, o en una escasa resistencia de los elementos que la componen.

Caída de personas a distinto nivel: La causa puede darse desde el montaje o desmontaje sin las debidas precauciones, ausencia las barandillas durante su uso, subirse en las barandillas y la colisión con objetos durante el desplazamiento.

Caída de objetos: Cuando hay movimiento en el andamio por el desplazamiento, en consecuencia los objetos o herramientas de uso del operador tenderán a moverse, rodar o caer, lo cual es un riesgo para las personas que están debajo del edificio o andamio.

Caídas al mismo nivel: Esto podría producir la acumulación de objetos sobre la superficie del andamio.

La estabilidad

Cargas sobre los puntos de anclaje: Un andamio está sometido a cargas estáticas y dinámicas. La carga estática (E) está compuesta por la plataforma, los órganos de suspensiones y de maniobra conjuntamente con los trabajadores y los materiales de trabajo situados sobre la plataforma. La carga dinámica (D) es la que ejercen los operarios al ejecutar su trabajo y al desplazarse por la plataforma que provocan esfuerzos dinámicos que se transmiten sobre los puntos de anclaje. La carga dinámica se puede estimar en 2,5 veces la carga estática (2,5 E) [6].

$$D = 2.5E \tag{1}$$

Reparto de las cargas suspendidas: Es conveniente que la carga máxima de utilización se reparta uniformemente sobre la plataforma. El caso de plataformas con dos liras cada punto de anclaje debe soportar como mínimo la mitad de la carga dinámica (2,5 E / 2 = 1,25 E) o la carga dinámica real D aplicada por el cable del dispositivo paracaídas sobre el punto de anclaje cuando esta sea superior a 1,25 E [6].

5.4.3 NTP 970 - Andamios Colgados Móviles de Accionamiento Manual (II): Normas de Montaje y Utilización

En este apartado la NTP 970 menciona normativas a seguir con el fin de disminuir los factores de riesgo relacionados con el montaje y uso de los andamios colgados manuales.

Estas normas abarcan a las plataformas de trabajo de una longitud variable de dos a ocho metros, equipada con liras, pescantes, aparejo de elevación manual con detector sobrecarga, dispositivos de seguridad con control de inclinación o rotura de elevación y los cables de sustentación y seguridad.

Consideraciones previas al montaje

Montadores (Operadores): el personal que hace uso del andamio para sus diferentes funciones necesariamente deberá tener los conocimientos respecto a la interpretación del plan de montaje y desmontaje conjuntamente con las medidas de seguridad que estos procedimientos conlleva, tales como, prevención de los riesgos de caída de personas u objetos, los procedimientos de trabajo mediante la utilización de equipos de protección individual (EPI), coeficientes de carga, efectos meteorológicos adversos y variables

Pescante: El anclaje de un pescante se lo realiza de dos maneras, la primera es anclarlo al forjado o a una superficie resistente de la cubierta (como son los nervios, voladizos y vigas) realizando un orificio donde se coloca un tornillo que fijará el pescante a la cara inferior del forjado con la ayuda de una platina en dicha cara (ver Figura 12).

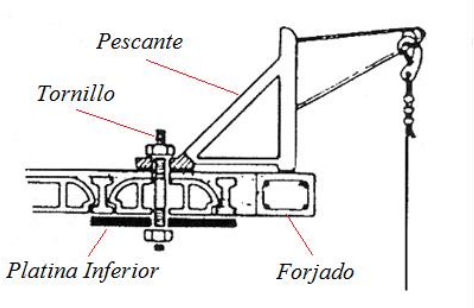


Figura 12. Pescante anclado al forjado [7]

Sea el caso de que no se permita la práctica de agujeros, se procede a colocar los contrapesos reglamentarios sobre una base metálica que está anclada con tornillos a la cola del pescante como se muestra en la Figura 13. En esta cola se distribuyen los contrapesos hasta un total de 500 Kg. por pescante. En la instalación el andamio deberá estar situado sobre zonas estables y resistentes.

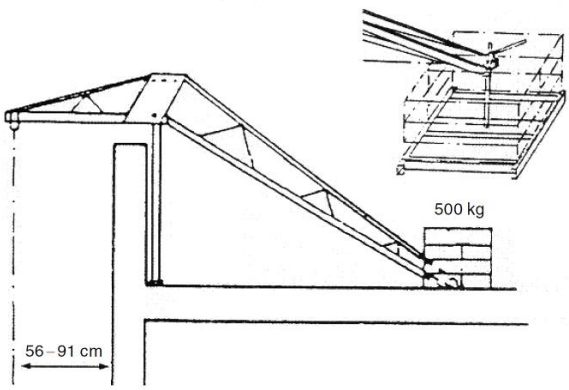


Figura 13. Pescante anclado mediante contrapesos [7]

Contrapesos: Deben ser de construcción sólida como hormigón, fundición, etc. descarando materiales improvisados. NTP 970 recomienda el coeficiente de seguridad de 3, por lo que el contrapeso a colocar en la cola de los pescantes vendrá dado por la siguiente formula [7]:

$$P'I' > 3PI \tag{2}$$

Donde:

P' = Peso del contrapeso
I' = Longitud de la cola del pescante
P = Peso de la carga
I = Longitud de vuelo de la pluma
Factor de seguridad = 3

Se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

a. Se debe asegurar su estabilidad repartiéndolos uniformemente sobre la base a ambos lados del tornillo de fijación.
b. La carga a distribuir sobre la base de contrapesos debe ser igual a la carga real total del andamio
c. el chasis deberá incluir un suelo antideslizante y dos zócalos que constituyen la parte resistente.

Cables: Caen a lo largo de la fachada pasando por el aparejo de elevación; el cable de seguridad lleva en su extremo inferior un contrapeso para darle tensión [7].

Unión*:* No puede ser articulada de acuerdo a la norma, se debe realizar la unión con tornillos acoplados en los extremos de los zócalos y que, a su vez, soporta un accesorio llamado lira a la que va unido el aparejo de elevación manual y el sistema anticaídas (ver Figura 14).

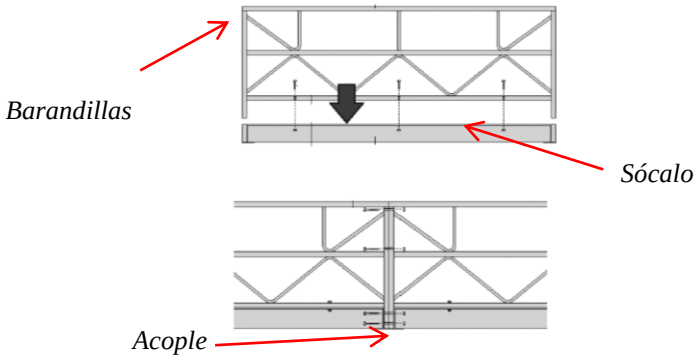


Figura 14. Barandillas de seguridad y acople del módulo [7]

Los dos extremos de las barandillas se cierran mediante la protección lateral, empernada hasta 1 metro de altura desde el suelo de la plataforma en la cual se acopla la lira. La NTP 970 nos dice que la capacidad de carga mínima del suelo debe ser de 200 kg/m^2. El suelo debe resistir una carga de 100 kg, distribuida sobre una superficie de 0,04 m2. La anchura útil mínima de la plataforma debe ser de 500 milímetros (ver Figura 15).

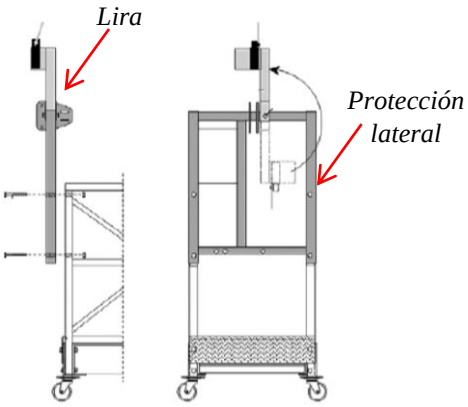


Figura 15. Montaje de la protección lateral de la plataforma [7]

Recomendaciones de uso [7]

a. Si se estabiliza mediante contrapesos fijar la base de contrapesos con el tornillo de anclaje a la cola del pescante, roscando la tuerca totalmente; a continuación, colocar los contrapesos con un mínimo de 500 Kg. por pescante.
b. Prever cables con una longitud superior a la de la fachada.
c. Colocar un contrapeso, de al menos 25 Kg. en el cable de seguridad, de forma que quede a unos 20 cm del suelo.
d. Cuando no se pueda amarrar el andamio, los operarios utilizarán equipos de protección individual (EPI). Se recomienda la utilización de arneses anticaídas según la norma UNE-EN 361 y, un equipo de protección individual contra caídas según la norma UNE-EN 363.

e. Está terminante prohibido utilizar la plataforma con velocidades del viento superiores a 12,5 m/s.

5.4.4 NTP 976 - Andamios Colgados Móviles de Accionamiento Motorizado (I)

La mayoría de elementos que conforman los andamios colgados motorizados, tienen total similitud con los andamios colgados manuales, por ello se ha menciona extractos de la NTP 970 y NTP 530, ya que es información de gran relevancia para el diseño, en este apartado se analiza las recomendaciones para la plataforma del andamio motorizado, que dependen de los aparejos motorizados para su ascenso y descenso.

Plataforma: Está conformada por elementos modulares de 2 y 3 m (pueden ser de menos e individuales), permitiendo longitudes máximas de 15 metros con liras extremas y 18 metros con estribos en C, esta es una ventaja de los andamios manuales, ya que su longitud máxima es 8 metros (ver Figuras 16 y 17). La estructura metálica de acero o aluminio sobre se apoya sobre una chapa o un contra placado que constituye la superficie de trabajo del andamio. [8]

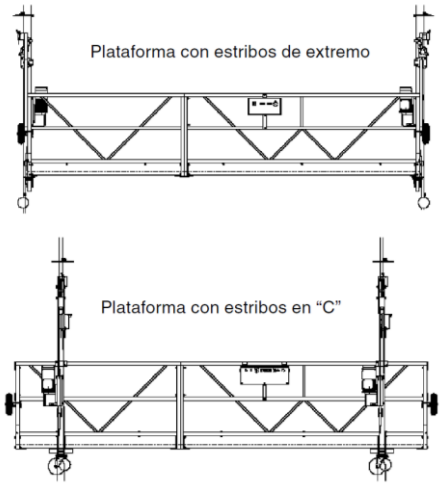


Figura 16. Andamio colgado con liras extremas y liras en C [8]

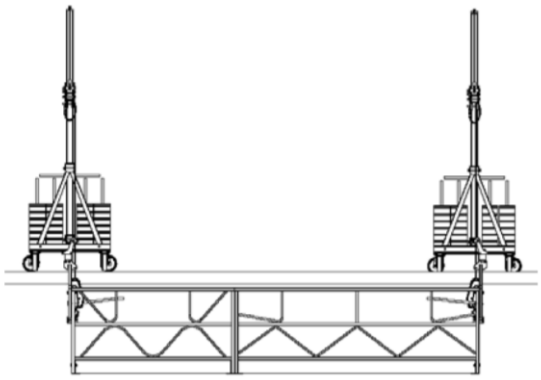


Figura 17. Andamios colgados con pescantes extremos [8]

Montaje de la plataforma

El montaje de la plataforma se realizará de acuerdo con el siguiente procedimiento que define la NTP 976:

a. Se deben colocar los módulos alineados en una superficie plana. (Figura 13)
b. Atornillar las barandillas delantera y trasera al suelo de la plataforma.
c. Ensamblar los diferentes módulos para obtener la longitud deseada, hasta un máximo de 18 m.
d. Fijar las dos liras en los extremos de la plataforma, orientadas hacia el interior de la plataforma.
e. Fijar los sistemas anticaídas en las liras extremas. La plataforma debe estar protegida en los cuatro lados perimetrales por una barandilla preferentemente a 1 metro de altura, una barra intermedia a 0,45 m de altura como mínimo y de un rodapié a una altura mínima de 0,15 metro.

Es propicio disponer de topes regulables que estabilizaran el andamio y que se aseguren a la estructura de la obra o instalación. Estos topes deben permitir que el andamio esté situado a una distancia máxima de 0,45 m de la fachada (ver Figura 18).

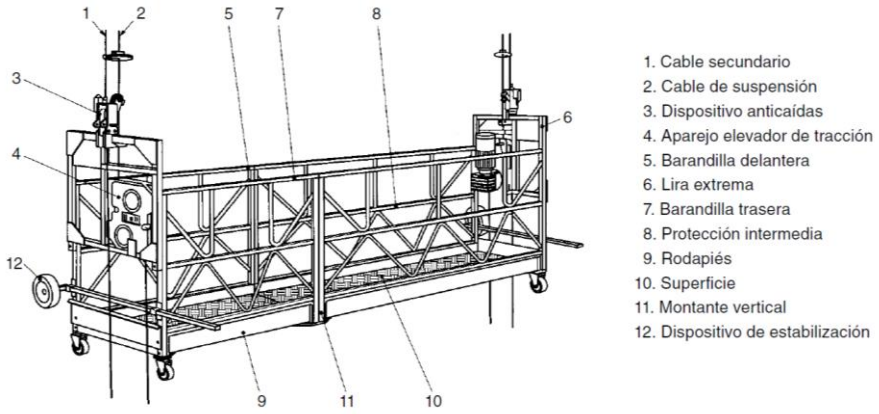


Figura 18. Componentes principales de la plataforma [8]

En la NTP 970 se hablaba del cierre de los dos extremos de la plataforma con una protección lateral, en este caso los extremos laterales se cierran con una protección similar los mismo son elementos acoplables a la lira y se coloca hasta a un metro de altura del piso del andamio, en la lira se acopla el motor de elevación (ver Figura 19).

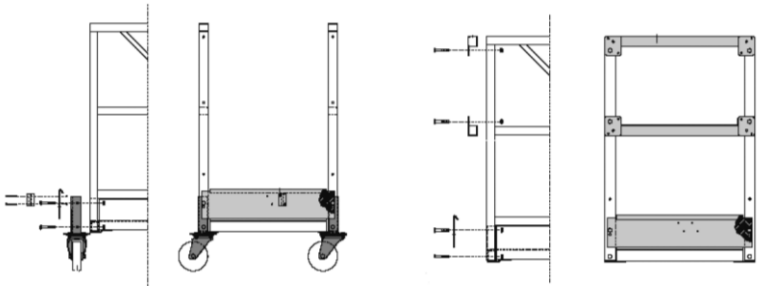


Figura 19. Montaje de la protección lateral de la plataforma [8]

5.4.5 NTP 977 - Andamios Colgados Móviles de Accionamiento Motorizado (II)

Dispositivos de suspensión

Pescantes: Como se ha mencionado en la NTP anterior, los pescantes pueden ser fijos o móviles, a su vez se pueden anclar al forjado por tornillos (ver Figura 11). De lo contrario se coloca contrapesos en una base metálica anclada a la cola del pescante atreves de un tornillo y en cada pescante se sitúan hasta 500Kg como contrapeso (ver Figura 20).

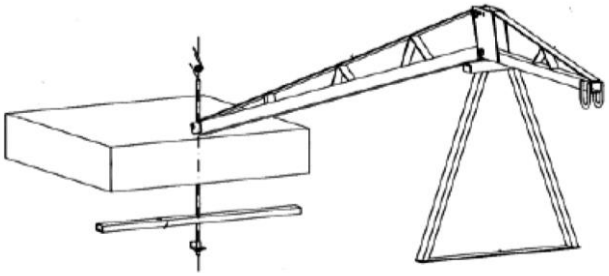


Figura 20. Pescante anclado al forjado [9]

En el momento de instalar los pescantes se debe evitar apoyarse sobre zonas inestables o poco resistentes (ver Figura 21). Para asegurar que la superficie es idónea para resistir la carga de los contrapesos y anclaje de conjunto de pescantes se coloca tablones debajo de los caballetes y de la base de contrapesos para evitar cargas puntuales y repartir las cargas de manera más eficiente.

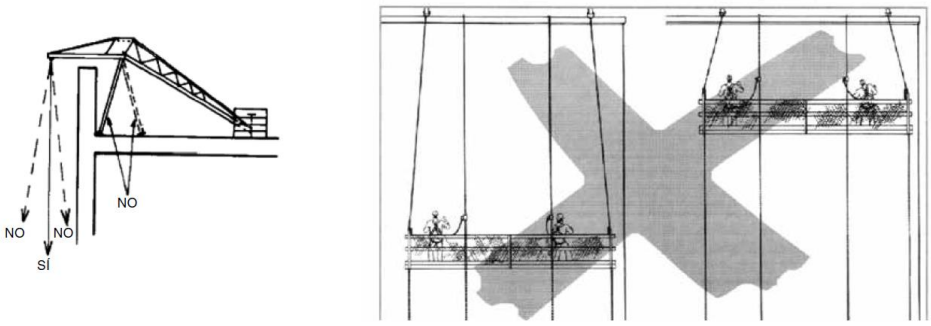


Figura 21. Instalación incorrecta de pescante [9]

La plataforma debe mantener una distancia entre 15 a 30 cm de la fachada, es un punto importante a considerar en el instante de instalar el mecanismo (Pescantes). Además, la medida correcta entre pescantes se da en función de los módulos, tomando en cuenta la argolla en que se anclan cada uno de los dos cables, para que todos los cables bajen paralelos entre sí y perpendiculares al suelo también el caballete de apoyo debe situarse en posición vertical.

La pluma se une con la cola mediante tornillos en posiciones adecuadas y seguras, se coloca el caballete, apoyando el pescante sobre él (ver Figura 22 y 23).

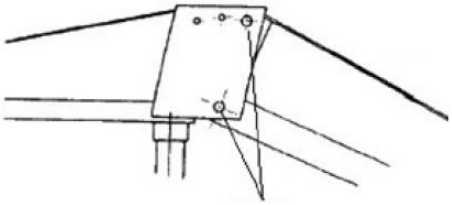


Figura 22. Unión entre la pluma y la cola del pescante [9]

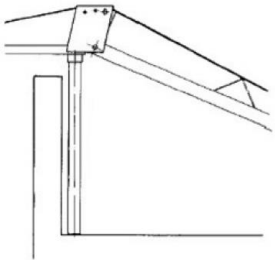


Figura 23. Apoyo correcto del pescante sobre el caballete [9]

Puntos de apoyo

Colocar los contrapesos con un mínimo de 500 kg por pescante. Anclar los cables de trabajo y de seguridad en las argollas correspondientes de la pluma. Para el cálculo de la estabilidad de los pescantes (ver figura 24), se parte de los puntos A y B (apoyo delantero y trasero del pescante) que soportan las siguientes cargas [9]:

$$A = (F \cdot K) + P \tag{3}$$

$$B = G + P \tag{4}$$

El contrapeso G, tiene el siguiente valor:

$$G = \frac{(F \cdot a \cdot K)}{b} \tag{5}$$

Donde:

A = Punto de apoyo anterior

B = Punto de apoyo posterior

F = Capacidad nominal del aparato o carga máxima por pescante

K = Coeficiente de seguridad de vuelco ≥ 3

P = Peso del pescante

a = Voladizo

b = Distancia entre A y B

El peso del pescante queda repartido proporcionalmente entre a y b (ver Figura 23).

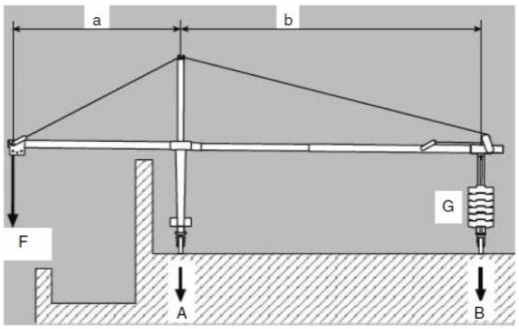


Figura 24. Pescante anclado mediante contrapesos [8]

Cálculo del número de contrapesos de los pescantes

Cada uno de los contrapesos (ver Figura 25) tienen una masa de 25 kg el número de contrapesos (N) requerido será:

$$N = \frac{(F \cdot a \cdot K)}{25 \cdot b} \tag{6}$$

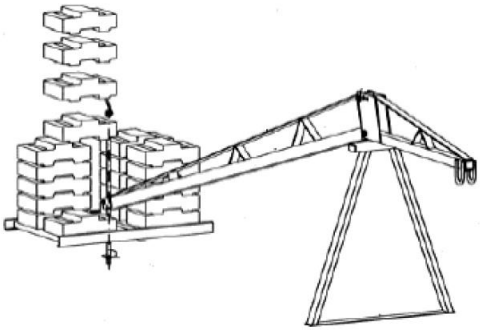


Figura 25. Pescante anclado mediante contrapesos [9]

Se recomienda utilizar un contrapeso extra en el cable de seguridad, de manera que este quede a una distancia de 20 cm del suelo y lo mantenga en tensión, para evitar movimientos sin control del cable.

Elementos de suspensión y de maniobra

Los elementos que soportan a la plataforma son los de suspensión, maniobra, dispositivos anticaídas y lira.

Aparejo de seguridad: Este dispositivo está anclado a la lira o estribo en C, suspendido por medio del cable de acero y el contrapeso mencionando anteriormente.

Aparejo de elevación: Este es el equipo de elevación, está formado comúnmente por un tambor donde se enrolla el cable de suspensión, este sistema de elevación varía dependiendo de la marca y modelo del equipo que se adquiera (ver Figura 26).

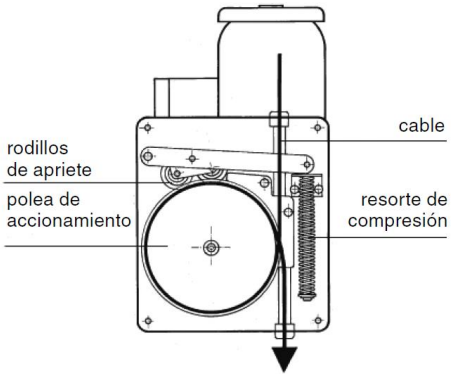


Figura 26. Aparejo de elevación [9]

5.4.6 UNE-EN 1808: Requisitos de seguridad para plataformas suspendida de nivel variable

Un pescante se considera superficialmente estable si con referencia a la línea de vuelco más desfavorable, el momento de estabilidad es mayor a 3 veces el momento de vuelco, cuando la fuerza máxima aplicada al cable es igual a la WLL del aparejo elevador (ver Figura 27). [10]

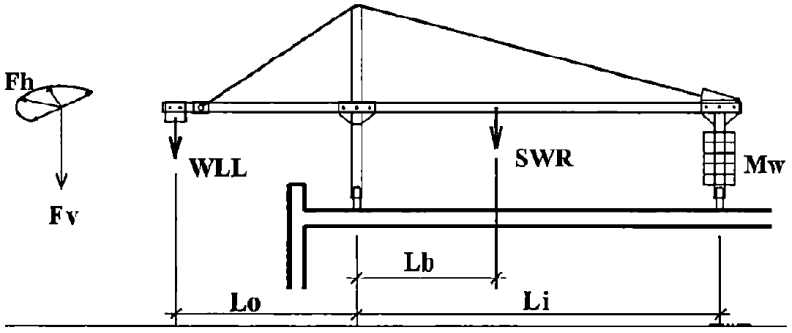


Figura 27. Esquema para el análisis de volcamiento [11]

Cwr = Coeficiente de utilización de la estructura sobre techado.

Swr = Masa propia de la estructura de suspensión, Dato extraído desde el catálogo de IPAC.

WLL= Carga máxima de utilización.

Lo = Longitud de la parte en voladizo de la estructura de suspensión.

Li = Longitud de la parte entre apoyos de la estructura de suspensión.

Lb = Distancia entre las líneas de vuelco y el punto sobre el cual actúa el peso propio de la estructura de suspensión.

5.4.7 Reglamentos de seguridad y salud para la construcción y obras públicas en el Ecuador

De acuerdo con el registro oficial en el 2008, el estado ecuatoriano tiene misión de salvaguardar las condiciones de vida y de trabajo de la población a través de los órganos y entidades competentes, ya que con las mismas se propicia el mejoramiento de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo con el fin de prevenir daños a la integridad física y mental de los trabajadores que sean consecuencia y guarden relación o sobrevenga durante la actividad del trabajo.

Artículo 103. Andamios

Este artículo estipula las condiciones generales que un andamio debe reunir para su uso, tales como:

- El andamio que se eleve alturas superiores a 1,8 metros deberá tener barandas de protección y rodapié reglamentario.
- La inspección de sus elementos serán diariamente o previo a su montaje.
- Se usarán técnicas adecuadas de construcción que garantice su resistencia, estabilidad e inderformabilidad.
- El piso del andamio, en posición de trabajo, será sensiblemente horizontal, no se permitirá que la plataforma tenga una inclinación mayor al 10% en las operaciones ascenso o descenso.

5.4.8 NCH 666: Terminología y clasificación de los Cables de Acero

Un cable de acero es el conjunto de cordones constituidos de alambres de acero y trenzados en espiral formando torones (alambres trenzados), los mismos que a su vez se envuelven alrededor de un alma (Centro del cable) que es de acero o de fibra. La cantidad de torones varía de acuerdo a las propiedades o aplicaciones que se requieren obtener (ver Figura 28).

Alambres: Es la materia prima de un cable de acero, Se obtiene en un proceso de estiramiento al disminuir la sección del alambrón, aplicando una fuerza axial mientras el alambre pasa por dados o matrices.

Torones: Son alambres de diámetros iguales o diferentes, trenzados helicoidalmente sobre un alma central.

Alma: Es el núcleo o eje central del cable, alrededor del mismo se enrolla los torones, el alma puede ser de materiales tales como acero, fibra natural o sintética.

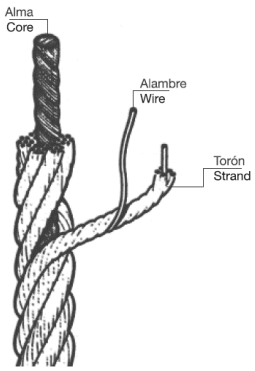


Figura 28. Aparejo de elevación [12]

De acuerdo a la NCH666 los cables están clasificados, de la siguiente manera:

Según su aplicación

a. Cables de acero para grúas, excavadoras e ingeniería en general. Su construcción es generalmente de 6 x 19 alambres, pero hay algunos de 6 x 26 hasta 6 x 43, y los no rotatorios que tienen 17,18 ó 34 cordones de 7 alambres.
b. Cables de acero para ascensores, elevadores, funiculares etc. que comprende cables de suspensión y auxiliares de 6 u 8 x 19.
c. Cables para usos marinos (remolques, amarrar carga y otros, no incluyendo los cables para winches marinos) comprende cables desde 7 x 7 a 7 x 37 y desde 6 x 12 a 6 x 37.

Según el ángulo

a. Cables de cordones con capas de alambre paralelas (Igual paso).
b. Cables de cordones con capas de alambre no paralelas (Diferente paso en cada capa).

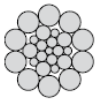
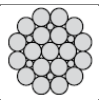
Según la ubicación de los cordones

a. Se toma como ejemplo un cable identificado como: 6 x 19 (12/6/1), lo cual se traduce en que es un cable de 6 cordones formado por 19 alambres, a su vez se constituye con 6 alambres sobre el alambre central y 12 alambres en la capa exterior del cordón.

Según los tipos de torones

El catalogo Prodinsa® - Casa comercial en el Ecuador, presenta una clasificación tomando un conjunto de números y letras que identifican al mismo en cuanto a su construcción de acuerdo al tipo de torón (ver Tabla 2).

Tabla 2. Torones [Fuente: Autores]

Torón	Descripción	Composición común	Designación NCH666	Grafico
Común de capa simple	Tiene alambre central y seis de mismo diámetro	1+6=7	1(6/1)	
Seale	La última capa tiene los alambres de mayor diámetro, dándole mayor resistencia a la abrasión.	1+9+9=19	6x19(9/9/1) 6x19S	
Filler	Entre las dos capas de alambres tiene otros hilos finos que rellenan los espacios. Posee una mayor sección metálica y con buena resistencia al aplastamiento.	1+6/6+12=25	6X19(12/6+6F/1) 6X19F 6X25	
Warrington	Su capa exterior está formada por alambres de dos diámetros diferentes	1+6+6/6=19	8X19(6+6/6/1) 8X19W	

Según paso del cable

El paso de un cable se determina por la forma en que los torones o trenzas están enrollados en el cable y por la manera en como los alambres están enrollados en los torones (ver Tabla 3 y Figura 29).

Tabla 3. Tipos de paso de un cable de acero [13]

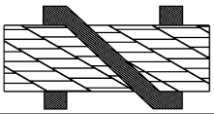
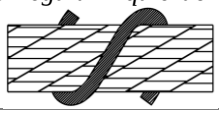
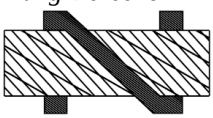
Paso	Descripción	Tipos de paso	Características
Paso Regular	La posición de los alambres en los torones es inversa a la dirección de estos en el cable, este tipo de estructura hace que le cable sea compacto, bien balanceado y con excelente estabilidad.	*Paso Regular Derecho* 	Alambres paralelos al eje del cable. Torones en diagonal hacia la derecha.
		Paso Regular Izquierdo 	Alambres paralelos al eje del cable. Torones en diagonal hacia la izquierda.
Paso Lang	La posición de los alambres en los torones es igual a la dirección de sus torones en el cable. Tiene una excelente resistencia a la fatiga y al desgaste.	*Paso Lang Derecho* 	Alambres diagonales al eje del cable. Torones en diagonal hacia la derecha.
		Paso Lang Izquierdo	Alambres diagonales al eje del cable. Torones en diagonal hacia la izquierda.

Figura 29. Cable Acero de paso regular derecho [13]

Según su alma [14]

Se designará de la siguiente manera:

a. AAI – Alma de acero independiente: Alma de torón (ver Figura 30).
b. CAI – Cordón de acero independiente.
c. AFN – Alma de fibra natural: Vegetales como manila, camaño, sisal, yute, algodón.
d. AFS – Alma de fibra o monofilamento sintético: Nylon, poliéster polipropileno, polietileno (ver Figura 30).
e. AM – Alma mixta (Fibra metal): Unión de cordones de alambres de acero y de fibras textiles.

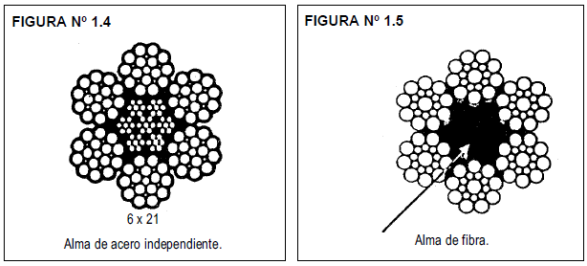


Figura 30. Cable Acero de paso regular derecho [14]

5.4.9 NCH 667: Cables de Acero – Especificaciones

En base a la norma chilena oficial NCH667, sección 7.2; nos sugiere elegir entre los siguientes tipos de cables:

Cables de acero para ascensores, elevadores, funiculares, etc.

- Tracción única: Todos los alambres que conforman el cable tienen una resistencia nominal a la tracción. Este valor puede estar entre 1370 a 1570 N/mm (140 a 160 kgf/mm).
- Tracción doble o dual: Los alambres exteriores tienen la misma resistencia nominal a la tracción; los alambres de las capas interiores tienen la misma resistencia nominal a la tracción. Los valores comúnmente usan esta combinación.

  Alambres Externo: 120 kgf/mm² nominales 1175 N/mm²
  Alambres Interno: 180 kgf/mm² nominales 1760 N/mm²
  Alambres Externo: 140 kgf/mm² nominales 1370 N/mm²
  Alambres Internos: 160 kgf/mm² nominales 1570 N/mm²

La norma NCH 667 enumera diferentes tipos de cables para suspensión y auxiliares, de los cuales se tomará de referencia para elegir los disponibles en catálogos de los proveedores de la localidad, cabe recalcar que las dimensiones y cargas nominales de los cables mencionados en esta norma podrían variar en sus unidades de un fabricante a otro.

a. Cables de suspensión y auxiliares 6 x 19 Seale (9/9/1) AFN. Lang o regular.
b. Cables de suspensión y auxiliares 6 x 19 Filler (12/6 + 6 F/1) AFN. Lang o regular.
c. Cables de suspensión y auxiliares 8 x 19 Seale (9/9/1) AFN. Lang o regular.
d. Cables de suspensión y auxiliares 8 x 19 Warrington (6 + 6/6/1) u 8 x 19 Filler (12/6 + 6 F/1) AFN. Lang o regular.

6. Diseño de una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal.

6.1 Elementos de Análisis

Se enumeran las partes que conforman el andamio de nivel variable, las mismas que se harán énfasis para su dimensionamiento previo, conjuntamente con las normas técnicas mencionadas anteriormente.

- Pescante
- Cables
- Canastilla
- Rieles
- Contrapesos

6.2 Pescante

Se determina las cargas que afectarán directamente al cable y al pescante a la vez, a continuación, en la Tabla 4 se enumera dichas cargas. Estas son estimaciones reales de las cargas, sabiendo que en el andamio se encuentran dos personas de peso promedio cada una equipada con su utilería de trabajo.

Tabla 4. Cargas aplicadas.

	Cant.	**Carga [kg]**	**Peso [N]**
Personas	2	160	1569.6
Utilería de trabajo	2	12.5	490.5
Canastilla Aluminio 2.5x0.7x1.2m	1	150	1471.5
Motores de elevación	2	106	1039.86
Frenos de seguridad	2	10	98.1
TOTAL		**451**	**4669.56**

La carga real estimada es 451 kg, para el diseño se considera una carga máxima de 500 kg (Carga estática), valor provisto por la NTP 977, debido a que la nota técnica sugiere colocar en la base del sistema del andamio colgante un contrapeso mayor o igual a 500 kg para la estabilidad de la base del sistema. Si la carga aplicada supera la carga del contrapeso habrá volcamiento.

Dentro del diseño es importante considerar las situaciones más desfavorables como la sobrecarga, resistencia insuficiente del elemento, desplazamiento constante de los operadores, vientos, etc. A estas eventualidades se asocia con el coeficiente de seguridad de vuelco ≥ 3 [9], cantidad que se

usará para definir el factor de utilización FU, y así obtener dimensiones óptimas para los pescantes del sistema de andamios colgantes

6.2.1 Análisis estático

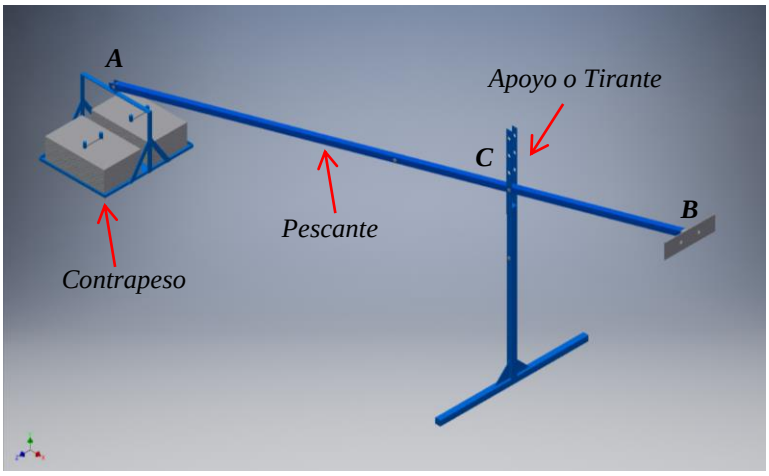


Figura 31. Estructura de suspensión [Fuente: Autores]

El principal elemento que soporta la carga producida por la canastilla, es el pescante, sometido a flexión por causa de los puntos de apoyo que a continuación se describen en la figura 32:

- Punto "A", está sujeto a un contrapeso atreves de un perno convirtiéndose en un apoyo de articulación fija.
- Punto "B", donde actúa la carga dinámica (F=(2.5)·500 kg), mencionados en la sección anterior.
- Punto "C", el pescante descansa sobre este punto (tirante o apoyo simple), elemento que tiene la función de dar altura al pescante según se requiera. La fuerza de reacción "Rc".

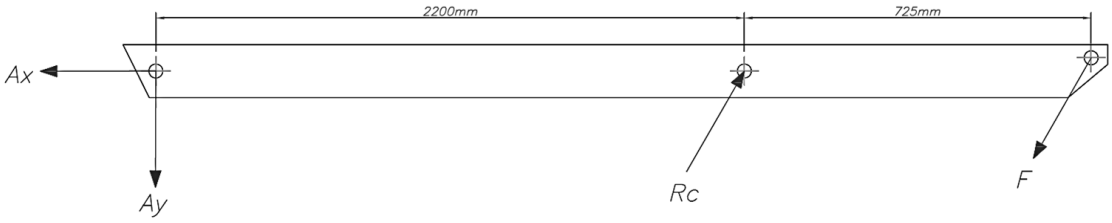


Figura 32. Diagrama de cuerpo libre – Pescante [Fuente: Autores]

Analizando el pescante aplicando las condiciones de equilibrio estático, se encuentran las reacciones en los apoyos "A" y "C", el perfil del pescante es rectangular 200x70 mm y espesor de 3 mm, fabricado en acero ASTM500 grado C (Catalogo DIPAC – Ecuador) con un esfuerzo a la fluencia (σ_γ) de 50 ksi y resistencia a la tracción (σ_u) de 62ksi a continuación se muestran los valores calculados.

$$\Sigma Fx=0 \qquad -Ax + Rc\cdot\cos(60) - F\cdot\cos(60) = 0$$

$$\Sigma Fy=0 \qquad -Ay + Rc\cdot\sin(60) - F\cdot\sin(60) = 0$$

$$\Sigma M_A=0 \qquad Rc\cdot\sin(60)\cdot(2.2m) - F\cdot\sin(60)\cdot(2.925m) = 0$$

6.2.2 Resultados de las reacciones

A través del cálculo de sumatorias de fuerzas en los ejes, se presenta en la Tabla 5 los resultados de las reacciones y componentes que se generan en los puntos de apoyo.

Tabla 5. Reacciones calculadas analíticamente.

Punto "C"	
Rc	16303.55[N]
Rcx	8152 [N]
Rcy	14120 [N]
Punto "A"	
Ax	2021 [N]
Ay	3500 [N]
Carga Dinámica	
F	12262.5 [N]
Fx	-6131 [N]
Fy	-10620 [N]

6.2.3 Diagrama de corte y momento flector

Las reacciones y cargas trasversales provocan la flexión del pescante, la determinación de los valores absolutos de la fuerzas cortantes y momentos flectores que afectan a cada punto del pescante (A, B y C) permiten calificar el espesor elegido del elemento como correcto o incorrecto (ver Figura 33).

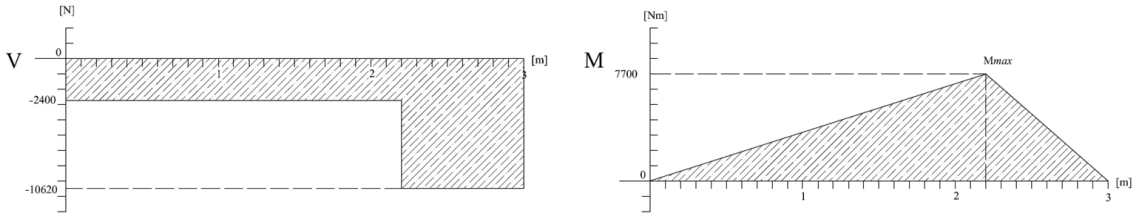


Figura 33. Diagrama de Corte y Momento del pescante [Fuente: Autores]

Se observa que el valor de esfuerzo cortante tiene un valor constante entre los puntos A y C del perfil de acero y su mayor concentración de esfuerzos se origina desde el punto C al punto B del mismo. El signo negativo indica la dirección de las fuerzas, ***-10620 [N]*** es la carga máxima que da paso a un esfuerzo cortante en dicha zona y por otro lado, el momento flector máximo ***7700 [N·m***], se encuentra en el punto C.

Esta zona entre el punto B y C, se vuelve vulnerable a posibles fallas de rotura o deformación, para ello a continuación verificaremos si el espesor del perfil que conforma el pescantes es adecuado.

6.2.4 Momento de inercia

Se calcula tomando en cuenta que el eje de giro es "X"

$$h := 200 \cdot mm = 0.2m$$

$$b := 70mm = 0.07m$$

$$t := 3mm = 3 \times 10^{-3} m$$

$$Ix := \left(\frac{b \cdot h^3}{12}\right) - \left[\frac{\left[(b - 2t) \cdot (h - 2t)^3\right]}{12}\right] \qquad (7)$$

$$Ix = 7.726 \times 10^{-6} m^4$$

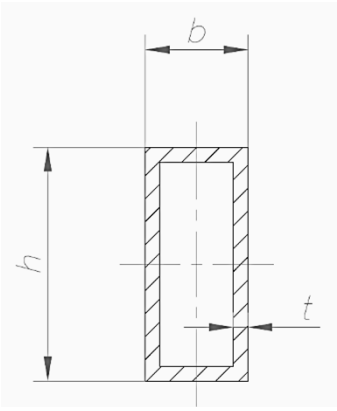


Figura 34. Perfil de Acero [Fuente: Autores]

6.2.5 Esfuerzo Máximo

En el punto C, se encuentra el mayor momento donde se produce la flexión del elemento (Pescante), con este valor se procede a calcular el esfuerzo máximo a continuación:

$$Mmax := 7700 N \cdot m$$

$$c := \frac{h}{2} = 0.1m$$

$$\sigma max := \frac{Mmax \cdot c}{Ix} \qquad (8)$$

$$\sigma max = 9.966 \times 10^{7} Pa$$

6.2.6 Deflexión en el eje "y"

Cuando se aplica la carga F, el pescante experimenta una deformación ligeramente curva y si esta carga F no está dentro del factor de seguridad es posible que la curvatura del pescante acabe en falla como deformaciones permanentes o en el peor de los casos la rotura del mismo.

$$y := 0.0642 \cdot \frac{\left(Fy \cdot a \cdot b^2\right)}{E \cdot I} \qquad (9)$$

$$y = 1.548 \times 10^{-3} m$$

6.2.7 Factor de utilización

Una de las condiciones de resistencia que se debe evaluar para el cumplimiento de la normativa de diseño de todo elemento estructural es el factor de utilización (FU). Este factor debe ser inferior o igual a 1.0 para que el diseño sea satisfactorio. Se clasificará como elemento deficitario en resistencia a todo elemento estructural que tenga un factor de utilización superior a uno [15].

Tabla 6. Propiedades del Acero A500 [15]

	Grado	Esf. Fluencia σ_γ[MPa] (ksi)	Esf. Ultimo σ_μ[MPa] (ksi)	σ_μ/σ_γ *min*
ASTM - A500	**A**	268.9 (39)	310.3 (45)	1.15
Tubos Cuadrados	**B**	317.2 (46)	399.9 (58)	1.26
	C	334.7 (50)	427.5 (62)	1.24
	D	248.2 (36)	399.9 (58)	1.61

$fs := 3$ *NTP977*

$\sigma\gamma := 50000 psi$ *ASTM A500 – Grado C*

$$FU := \frac{\sigma max}{\frac{\sigma\gamma}{fs}} \qquad (10)$$

$FU = 0.867$ ∴ Cumple con un diseño satisfactorio

El factor de utilización (FU) correspondiente al pescante es de 0.867, por lo tanto cumple su función de trabajo de acuerdo al rango presentado a continuación por la división de ingeniería estructural y geotécnica de Santiago de Chile [15].

a. Elementos con Resistencia Adecuada: $FU \leq 1.0$.

b. Elementos Levemente Deficitarios: $1.0 < FU \leq 1.25$.

Elementos estructurales de cumplimiento normativo impreciso que pueden considerarse con resistencia suficiente atendiendo a que las incertidumbres numéricas y de modelación antes señaladas afectan en grado indeterminado los resultados a nivel local.

c. Elementos Moderadamente Deficitarios: $1.25 < FU \leq 1.50$.

d. Elementos con Déficit de Resistencia Importante: $FU > 1.50$.

6.2.8 Concentración de esfuerzos

Los agujeros que se mecanizan en el pescante para colocar los pernos de sujeción tanto en los extremos como en el centro, representan una discontinuidad de material que podría abrir paso a una rotura en dicha zona. Con esta incertidumbre se calcula el esfuerzo producida en el punto de apoyo “C”.

$d := 25mm = 0.025m$

Área

$$A := [b - (b - 2t)]\cdot[[(h - d) - (h - 2t - d)]] = 3.6 \times 10^{-5} m^2 \qquad (11)$$

Esfuerzo promedio

Con la ayuda del diagrama de la figura 35, se encuentra la constante k, que relaciona el radio del agujero y su distancia perpendicular a la base del perfil.

$k := 2.7$

$$\sigma prom := \frac{k \cdot Rcx}{A} \qquad (12)$$

$$\sigma prom = 6.114 \times 10^{8} Pa$$

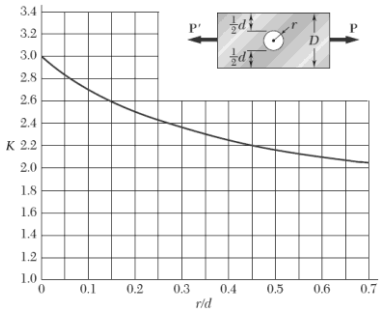


Figura 35. Constante K para el elemento con agujeros y fuerzas axiales [22]

6.2.9 Estabilidad de los pescantes y su contrapeso

Un pescante de suspensión se considera suficientemente estable si, refiriéndose a la línea de vuelco más desfavorable, el momento de estabilidad es mayor o igual a 3 veces el momento de vuelco más desfavorable, el momento de estabilidad es mayor o igual a 3 veces el momento de vuelco cuando la fuerza máxima aplicada al cable es igual a la WLL del aparejo elevador [10]. La estabilidad debe justificarse a través del siguiente cálculo, basado en la Figura 27:

Momento de vuelco ≤ Momento de estabilidad

$$Cwr \cdot WLL \cdot Lo \le (Li \cdot Mw) \cdot (Swr \cdot Lb) \qquad (13)$$

$$3 \cdot \left(500kg \cdot 9.81\frac{m}{s^2} \cdot 0.725m\right) \le \left[\left(500kg \cdot 9.81\frac{m}{s^2}\right) \cdot 2.2m\right] + \left[\left(26.9kg \cdot 9.81\frac{m}{s^2}\right) \cdot 0.7m\right]$$

$$1.067 \times 10^{4} N \cdot m \le 1.098 \times 10^{4} N \cdot m$$

El pescante ***si aplica*** para su uso, con una carga de trabajo amplificada por 3 y su respectivo contrapeso de 500 kg por pescante, de acuerdo al cálculo.

6.3 Cable para izaje

Los cables son elementos que deberán ser analizados antes de su uso e instalación, ya que estos sujetan a la plataforma suspendida y a las personas que operan la misma, para salvaguardar la vida y eliminar cualquier posibilidad de rotura del cable.

Para los cálculos, el valor de la masa (M) se utiliza del análisis anterior (Tabla 5), el diámetro del cable es de 8.3mm recomendado por la NTP 977 como la medida mínima para los aparejos de elevación, siendo el cable auxiliar de un diámetro igual o mayor a esta medida. La longitud máxima de izaje está impuesta dentro del diseño del sistema de andamios con una medida de 90 metros, cima del edificio más alto del Ecuador (*Torre The Point*, Guayaquil) y finalmente la carga de rotura proporciona el catalogo del proveedor.

Datos Iniciales

$M := 500kg$ *Masa*

$F := M \cdot g = 4.903 \times 10^3 N$ *Fuerza aplicada* (Tabla 5)

$L := 90m$ *Longitud máxima de izaje del cable*

$E_s := 70 \cdot \frac{kN}{mm^2} = 7 \times 10^4 \cdot MPa$ *Módulo de elasticidad para cable de 6 cordones AAI*

$\phi := 9mm$ *Diámetro mínimo recomendado*

$Wmin := 55000N$ *Carga mínima de rotura garantizada* (Catálogo)

Área de Sección

El área metálica del cable no se especifica en normas o catálogos, es más conveniente usar la fórmula del área total encerrada por el diámetro nominal [16].

$$A := \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 0.636 \cdot cm^2 \qquad (14)$$

6.3.1 Alargamiento elástico

El alargamiento de los cables se efectúa por las siguientes razones [16]:

- Alargamiento de acomodación del cable
- Alargamiento Elástico (Ley de Hooke)
- Cambios de temperatura
- Rotaciones del cable alrededor de su eje
- Desgaste interior del cable
- Deformaciones permanentes más allá del límite de elasticidad

$$\Delta_{st} := \frac{F \cdot L}{E_s \cdot A} = 99.097 \cdot mm \qquad (15)$$

$$\%Def := \frac{\Delta_{st} \cdot 100}{L} = 0.11$$

Las cifras de la Tabla 7 define el tipo de carga, de acuerdo al porcentaje de alargamiento elástico.

Tabla 7. Porcentaje de deformaciones [16].

Cargas Livianas	**0.25%**
Cargas Normales	0.50%
Cargas Pesadas	1.00%
Cargas Pesadas con Dobles Y Deflexiones del cable	2.00%

Definido el alargamiento, se observa que un cable de 90 metros de un diametro de 9 mm, no afecta a mas del 0.25% al cable en su alargamiento, siendo definida la carga como una carga liviana para un cable de acero de módulo de elasticidad de 70 kN/mm², este valor se obtiene desde la norma NCH885 para los cables del tipo AFN (Alma de Fibra Natural).

6.3.2 Factor de utilización

Es la división entre la carga minima de rotura y la carga máxima real, de acuerdo a la NCH 885, cuando este envuelta la seguridad de personas, por ejempleo ascensores, elfactor de seguridad será igual o superor a 8/1.

Qmin = Carga minima de rotura

$$\sigma_{ult} := \frac{Qmin}{A} = 8.645 \times 10^{8} Pa \qquad (15)$$

$$\sigma_{max} := \frac{F}{A} = 9.634 \times 10^{7} Pa \qquad (16)$$

$$FU := \frac{\sigma_{max}}{\frac{\sigma_{ult}}{fs}} = 0.892 \qquad (17)$$

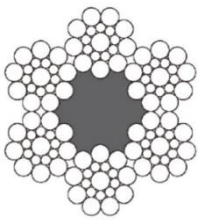


Figura 36. Cable COBRA – Alma de fibra 6 x 19 Seale [13]

6.4 Riel de desplazamiento horizontal

6.4.1 Análisis estático

La riel o carril es una viga metálica conformada por un tubo redondo estructural sobre el cual se apoya el sistema de deslizamiento horizontal para su desplazamiento a través de ruedas conectadas a dos motores y a su vez sujetan al andamio o canastilla con las cuerdas de acero, el tubo redondo está unido por celosías triangulares a una base metálica por un proceso de soldadura. Existen dos situaciones importantes que deben ser analizadas estáticamente:

a. *Caso 1:* Cuando el andamio se encentre sobre la riel únicamente con un extremo posicionado en el centro de la riel.

b. *Caso 2:* Cuando el andamio se posicione sobre la riel con sus dos extremos.

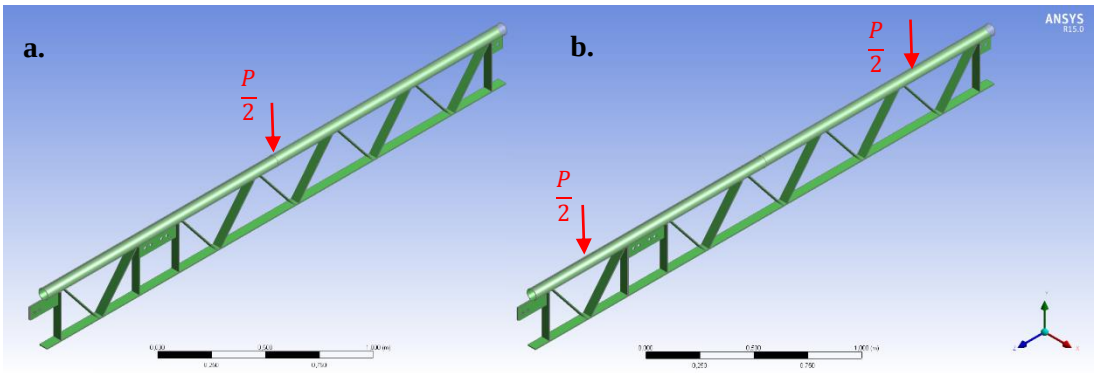


Figura 37. Riel para deslizamiento horizontal del andamio:
a. Carga central b. Cargas laterales [Fuente: Autores]

6.4.2 Diagrama de cuerpo libre del Riel

Para el análisis la definiremos como una viga empotrada, ya que la misma se encontrará sujeta en sus extremos por pernos para su ensamble y unida al pescante.

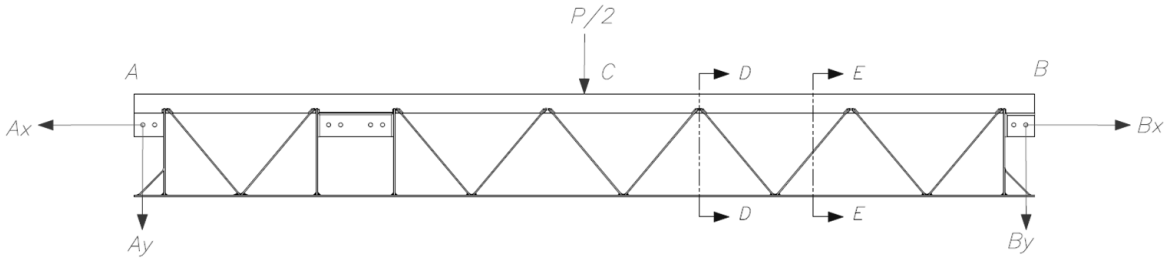


Figura 38. Diagrama de cuerpo libre en el riel y cortes en distinta sección. [Fuente: Autores]

Los esfuerzos se miden en dos puntos de la riel debido a que existen secciones transversales con discontinuidad de material, ya que las celosías no se unen entre sí, estas se encuentran separadas dos centímetros una de otra para dar paso a la soldadura. A continuación se muestran las secciones trasversales tomadas para el cálculo de esfuerzos, de esta manera se procederá a discutir la más desfavorable.

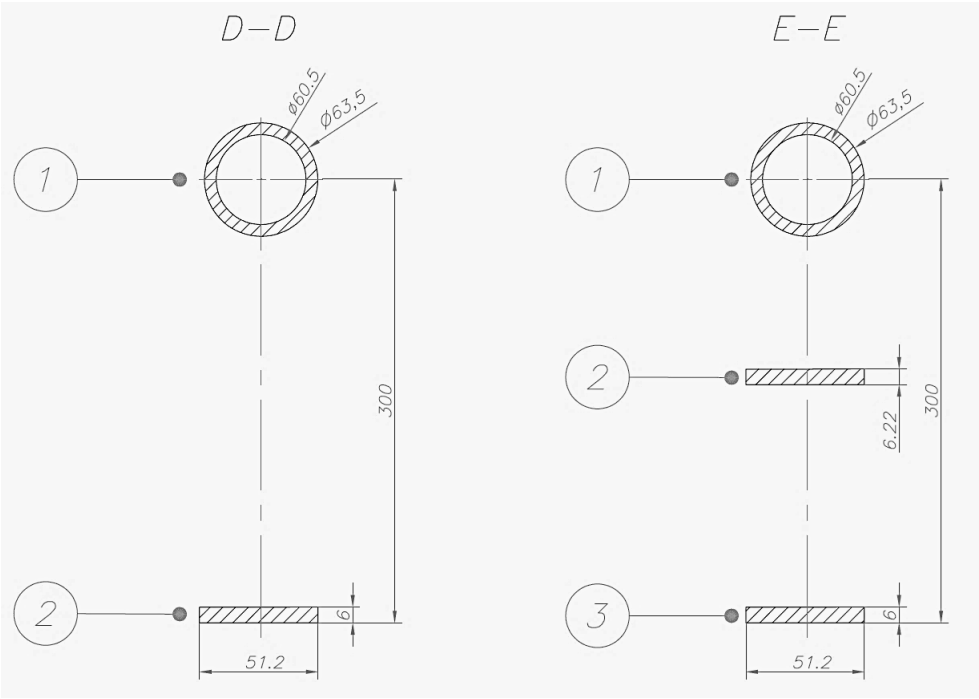


Figura 39. Detalle de la fuerza cortante y momento máximo en la estructura. [Fuente: Autores]

Los materiales que componen la geometría del riel o carril son los siguientes:

- *Tubo Estructural Redondo ASTM-A500 ø2"½ x 3mm*

Re := 1.25in = 0.032m

t := 4mm

Ri := Re − t = 0.028m

- *Perfil laminado (Platina) A-36 2"½ x 6mm*

h := 6mm

b := 2in = 0.051m

- *Perfil laminado (Platina) A-36 2"½ x 4mm - Celosía*

h := 4mm

b := 2in = 0.051m

6.4.3 Diagrama de corte y momento del Riel

Se grafica los diagramas para cada caso, de manera que se pueda decidir la eventualidad que cause mayor momento en la estructura, esto con el fin de calcular el esfuerzo máximo posteriormente.

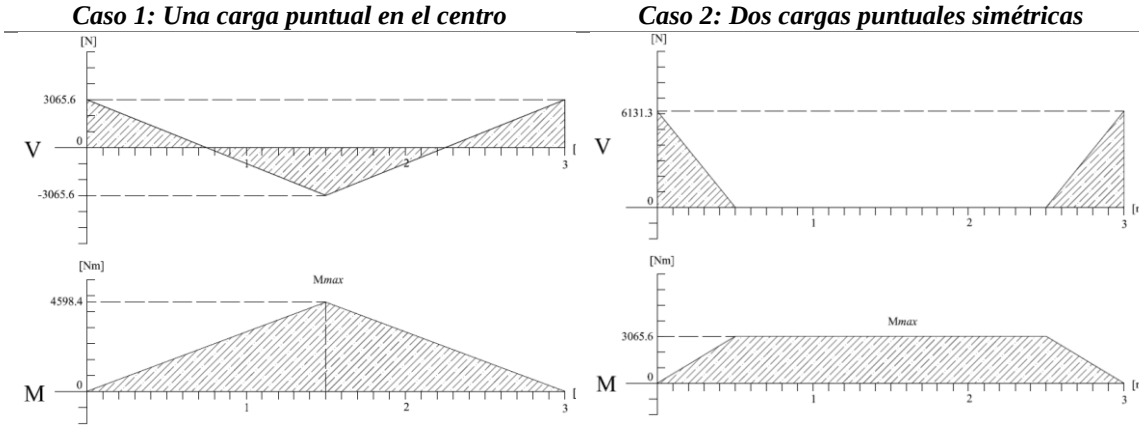


Figura 40. Detalle de la fuerza cortante y momento máximo en la estructura. [Fuente: Autores]

El valor del momento del caso 1 (M*max* = 4598.4 Nm) se usará para calcular el esfuerzo máximo y validarlo computacionalmente a través del software Ansys, ya que este valor es mayor al momento del caso 2.

6.4.4 Esfuerzo máximo

En las Tablas 8 y 9, se detalla los valores requeridos para calcular el momento de inercia de las secciones elegidas para el análisis.

Sección D-D

En esta sección, el corte se ubica en el punto donde la celosía es discontinua, por lo tanto se convierte en un punto crítico, para partir en el diseño.

Tabla 8. Valores de esfuerzo para distinta sección [Fuente: Autores]

		Área	***ȳ***	***ȳ · Área***	***Īx***	***d***
		[m²]	*[m]*	*[m³]*	*[m4]*	*[m]*
1.	***Tubo redondo***	*0,00057*	*0,3*	*0,000171*	*2,615E-07*	*0,103*
2.	***Base***	*0,00030*	*0,003*	*9,144E-07*	*9,144E-10*	*-0,194*
	Σ	***0,000875***		***0,000172***		

$$I := \left[Ix1 + A1\cdot\left(d1^2\right)\right] + \left[Ix2 + A2\cdot\left(d2^2\right)\right] \qquad (18)$$

$$I = 1.778\times 10^{-5} m^4$$

Sección E-E

Se toma una sección transversal que coincida con la celosía para determinar su momento de inercia el cual será mayor a la sección D-D.

Tabla 9. Valores de esfuerzo para distinta sección.

		Área	ȳ	ȳ · Área	Īx	d
		[m²]	[m]	[m³]	[m⁴]	[m]
1.	***Tubo redondo***	0,00057	0,3	0,000171	2,615E-07	0,116
2.	***Celosia***	0,00032	0,15	0,000047	1,019E-09	-0,034
3.	***Base***	0,00030	0,003	9,144E-07	9,144E-10	-0,181
	Σ	0,001191		0,000219		

$$I := \left[Ix1 + A1\cdot\left(d1^2\right)\right] + \left[Ix2 + A2\cdot\left(d2^2\right)\right] + \left[Ix3 + A3\cdot\left(d3^2\right)\right] \qquad (19)$$

$$I = 1.829\times 10^{-5} m^4$$

6.4.5 Esfuerzo máximo

El dimensionamiento de los elementos como tubo redondo, platinas base y platinas de la celosía están en función de este valor para obtener un factor de utilización dentro del rango adecuado, el factor de seguridad utilizado es de 3, valor asumido por la norma NTP 977 como coeficiente de vuelco, recordando que la carga utilizada es la dinámica (2.5E).

Tabla 10. Valores de esfuerzo para distinta sección.

			Sección D-D	Sección E-E
Centroide	Ȳ	[m]	0,197	0,184
Momento Inercia	I	[m⁴]	1,778E-05	1,829E-05
Esfuerzo máximo	*σmax*	[Pa]	101646389,91	92635483,42
Factor de utilización	FU	-	0,961	0,876

6.4.6 Deflexión

La deflexión en el eje "y" se calcula con los dos casos de posición del andamio mencionados en la sección 6.4.1 para hacer una comparación de su comportamiento y proceder a la simulación con el caso que presente mayor deflexión.

Caso 1: Una carga puntual en el centro

$$ymax := \frac{-\left(\frac{P}{2}\right)L^3}{48\cdot E\cdot I} = -9.694\times 10^{-4} m \qquad (20)$$

Caso 2: Dos cargas puntuales simétricas

$$ymax := -\left(\frac{P\cdot a}{E\cdot I}\right)\cdot\left(\frac{L^2}{8} - \frac{a^2}{6}\right) = -9.339\times 10^{-4} m \qquad (21)$$

En términos de longitud el caso 1 donde el riel está sometido a una carga central tiene mayor deflexión en el eje “y” negativo. Lo que le hace candidato para análisis computacional

6.5 Contrapesos

La cantidad de contrapesos es directamente proporcional a la carga “F” que conforma la plataforma suspendida conjuntamente con los operarios y motores de elevación. La carga F siempre varía aleatoriamente por la cantidad de personas o herramientas que se encuentren sobre el mismo por esta razón se fija una carga máxima de 500 kg, para definir la cantidad de contrapesos requeridos por cada pescante, además se amplifica esta carga “F” con un coeficiente de seguridad ≥ 3 para evitar el vuelco en eventualidades como viento, desplazamiento de los operarios o movimiento de la plataforma (ver Figura 41).

$F := 500kg$ Carga

$k := 3$ Coeficiente de seguridad

$a := 0.725m$ Voladizo

$b := 2.2m$ Distancia entre apoyo y contrapeso

$$G := \frac{(F \cdot a \cdot k)}{b} = 494.318kg$$ Masa total del contrapeso requerido (22)

$$N := \frac{(F \cdot a \cdot k)}{25kg \cdot b} = 19.773$$ Número de contrapesos (23)

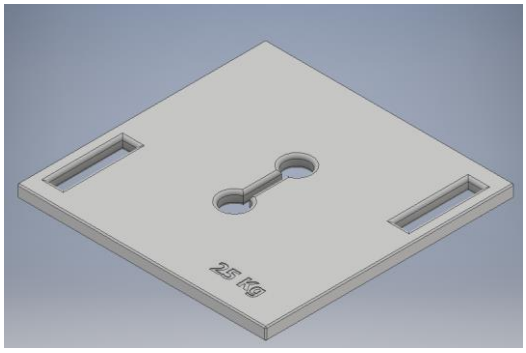


Figura 41. Contrapesos [Fuente: Autores]

Según la NTP 977 un contrapeso debe tener una masa de 25 kg, además se utiliza la fórmula (6) para calcular la cantidad de contrapesos necesarios para elevar 500 kg, y como resultado tenemos que se requiere 20 unidades. El material del que se fabrica los contrapesos es una plancha de acero ASTM-A36, laminado en caliente de las siguientes dimensiones: 0,4 metros por 0,4 metros y un espesor de 20 mm (Catálogo Dismetal Plancha de acero 1220 x 2440), con esta geometría se obtiene un contrapeso con la masa apropiada para la norma.

La canasta de los contrapesos está diseñada con cuatro vástagos en donde se introducen los contrapesos para evitar que se deslicen, los contrapesos se apilan de forma vertical uno sobre otro, ubicándolos a su izquierda y derecha de manera equitativa.

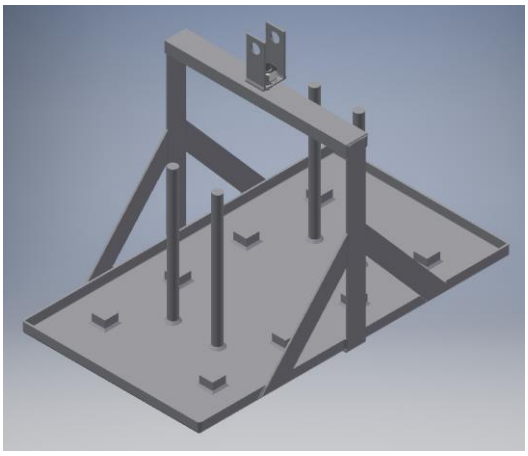


Figura 42. Base Metálica para contrapesos. [Fuente: Autores]

6.6 Plataforma o canastilla

La plataforma se diseña en base a la norma NTP 976, presentada en la *sección 5.1.4.* Está conformada por dos módulos de un metro cada uno que está compuestas de perfiles de acero galvanizado cuadrado de 0,4 metros y espesor de dos milímetros con liras laterales en la que se añaden los motores de elevación.

Se colocan rodapiés en los laterales de las barandillas y liras, para evitar la caída o deslizamiento de objetos.

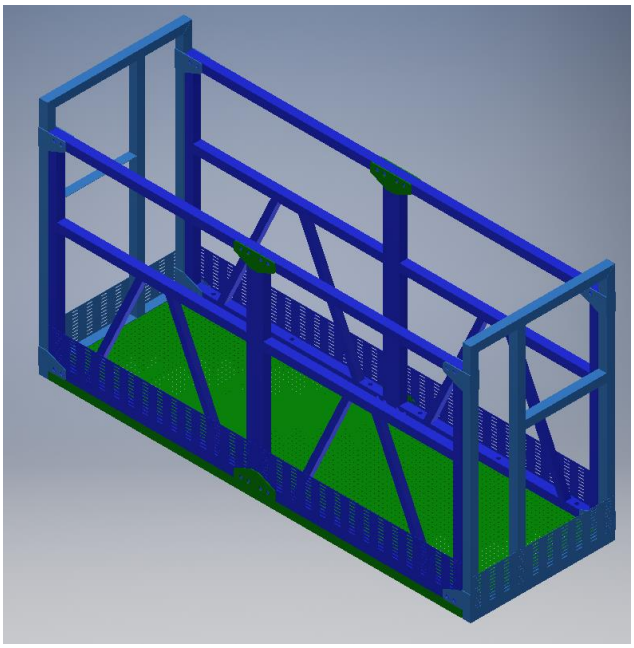


Figura 43. Propuesta para plataforma suspendida. [Fuente: Autores]

6.6.1 Aparejo de elevación

El movimiento vertical de la plataforma se efectúa por el trabajo simultáneo de tres elementos importantes:

a. Motor
b. Mecanismo de arrastre
c. Freno de seguridad

Motor	Mecanismo de arrastre	Freno de sguridad

Figura 44. Conjunto para la elevación Vertical [17]

Características generales

- Dimensiones, Tamaño y peso están pensados para su fácil montaje, manipulación y transporte
- No produce excesivo ruido
- Alta eficiencia de trasmisión por engranes (Arrastre de cable)
- Estabilidad
- Fácil mantenimiento y operación

El motor es el encargado de trasformar la energía eléctrica en movimiento, existen un sin número de marcas y modelos en el mercado internacional, como por ejemplo el modelo LTD 6.3 de la marca Sky Coloring - Colombia que cumplen con la norma UNE – EN1808 2000 y el motor cuenta con las características de trabajo presentadas en la Tabla 11:

Tabla 11. Características del modelo LTD 6.3.

Motor	Potencia	Capacidad	Velocidad de descenso	Peso
220/380 V 50/60 Hz	1.5 kW	6.3 kN	9,6 m/min	60 kg

Por otro lado, el mecanismo de arrastre del cable se conecta al motor para crear el movimiento vertical del andamio y en su interior se compone de ruedas con canales por donde se envuelve el cable principal creando tensión para desplazar la canastilla, el cable debe tener una diámetro

mínimo de 8.3 mm como se vio en la norma NTP 976, mientras que el cable de seguridad se desliza dentro de las mordazas de apriete del freno de seguridad que detiene el movimiento en el caso de existir una inclinación excesiva en el cable 3° a 8° grados.

6.6.2 Aparejo de movimiento horizontal

Carro de Traslación

El desplazamiento horizontal del andamio se realiza a través del carro de traslación, que con la ayuda de un conjunto moto reductor de tornillo sin fin, generan el desplazamiento de la polea sobre el riel. Para evitar inclinaciones e inestabilidad del carro de traslación se cuenta con una guía en la parte inferior que permite que este elemento se mantenga en su posición correcta todo el tiempo. Las cuerdas de seguridad están sujetas en la argolla con sus respectivos ganchos normalizados para su fácil desmontaje (ver Figura 45).

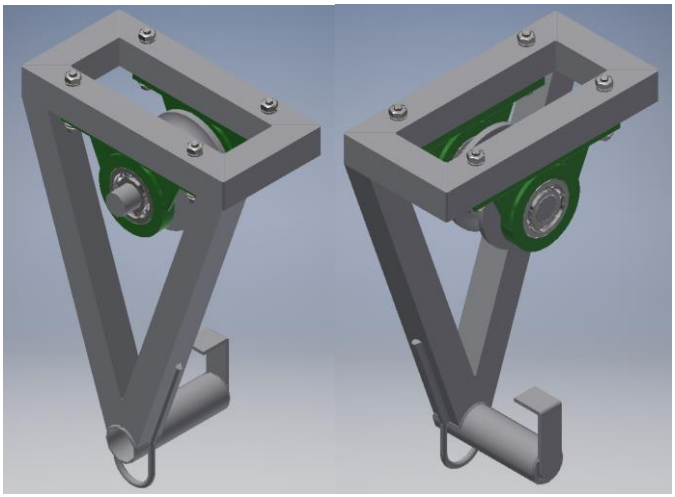


Figura 45. Carro de traslación horizontal. [Fuente: Autores]

Motor reductor de tornillo sinfín.

Este conjunto consta de un reductor de velocidades conformada por una rueda dentada llamada corona, que permanece en contacto constante con un tornillo sinfín. La rotación del motor se transfiere desde la corona hacia el tornillo sin fin cambiando de un movimiento lineal a un perpendicular. Se requiere que la plataforma avance a una velocidad máxima de 9 m/min y con una potencia de 0,18 kW.

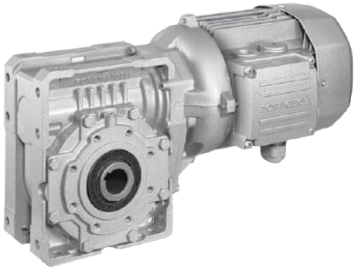


Figura 46. Motor reductor con tornillo sin fin. [Fuente: Autores]

6.7 Caja de Control

La caja de mando o control deberá ubicarse en el centro, quedando dentro del pasamano de la plataforma, esta caja eléctrica será manipulada por los operarios para controlar el ascenso y descenso de la plataforma. La caja deberá contar con las siguientes características.

- Luz Indicador de energía
- Parada de emergencia
- Swich de ascenso/descenso
- Swich de traslación derecha/Izquierda
- Swich de límite superior en sus extremos para condicionar a la plataforma, aun rango de desplazamiento y evitar que choque con los elementos de suspensión como el riel
- Tomacorriente 110v para el uso de herramientas
- Entradas para conectarse a los cuatro motores

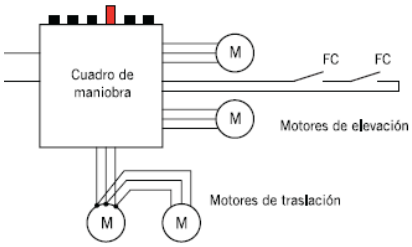


Figura 47. Conexión de los motores al control de mando [18]

6.8 Conjunto

Para entender de manera general el funcionamiento del sistema de andamio colgante, en la Figura 48, se detalla cada componente del andamio colgante instalado en una cubierta. El pescante se estabiliza al restringir su movimiento por efecto de los contrapesos, en su otro extremo se sujeta las rieles, las mismas que se conectan cada 3 metros de distancia. En las rieles se montan los carros de traslación y a la vez se colocan las cuerdas de acero en el mismo, las cuerdas se introducen en aparejo de elevación y en el dispositivo de seguridad que están sujetas a la plataforma, y por último se deberá conectar la parte eléctrica para arrancar con las pruebas previas a su uso.

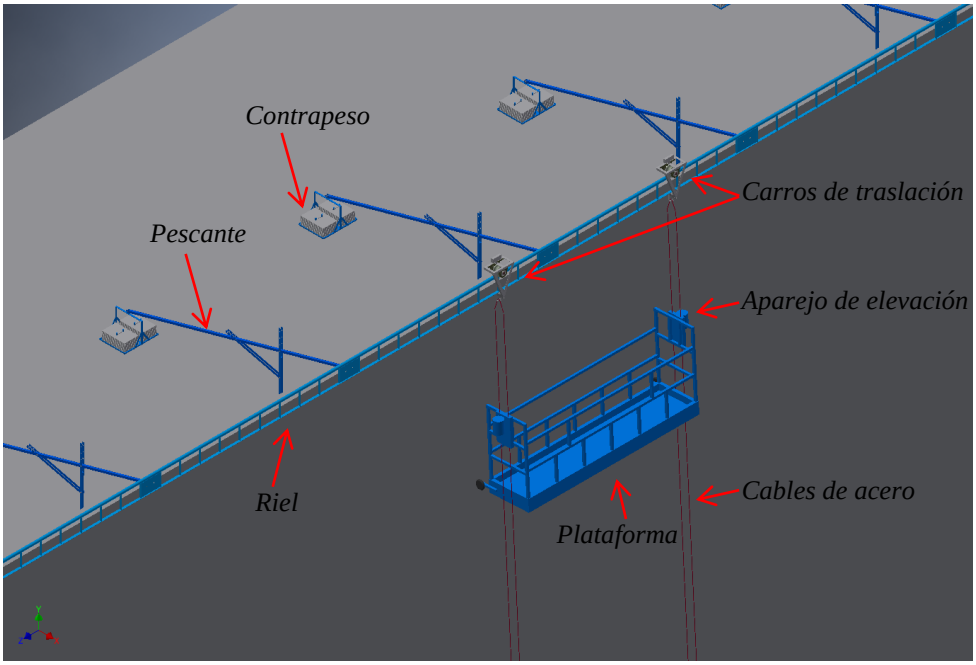


Figura 48. Vista panorámica del funcionamiento del andamio colgante. [Fuente: Autores]

7. Validación del diseño de elementos para el sistema de andamios colgantes a través de Ansys® - Static Structural

Con los resultados de esfuerzos y deflexión del pescante encontrados analíticamente se procede a validarlos en el software Ansys® para el cual se describe el método utilizado para llegar a su correcto análisis.

7.1 Pescante

Determinar las reacciones que se producen en el Punto A por la fijación de los contrapesos, a su vez en el punto C existe un apoyo donde descansa el pescante sobre el tirante y la carga estática de 500 kg se aplica en el extremo del pescante (Punto B). El pescante es de Acero ASTM A500 – Grado B. Las dimensiones del pescante en la Figura 34.

7.2 Procedimiento para el análisis en Ansys - Static Structure

Dentro del entorno de **Ansys Workbench** se selecciona el módulo **Static Structure** y arrastrarlo al **Project Schematic,** este será la interfaz usada para el análisis (ver Figura 49).

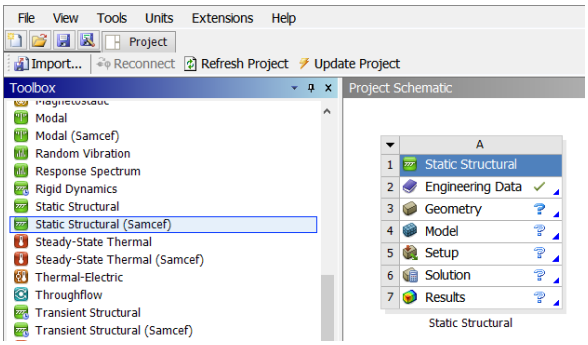


Figura 49. Interfaz Static Structure en el Project Schematic. [Fuente: Autores]

7.3 Engineering Data

Las propiedades mecánicas del tipo de acero seleccionado para la construcción del pescante, están especificadas en la Figura 50, tales como módulo de Young, relación de Poisson, resistencia por tensión y condiciones de contorno. Para este caso del acero estructural (*Structural Steel*), el valor de Esfuerzo último a la tensión (Tensile Ultimate Strength) se modifica de acuerdo a lo establecido en la Tabla 6.

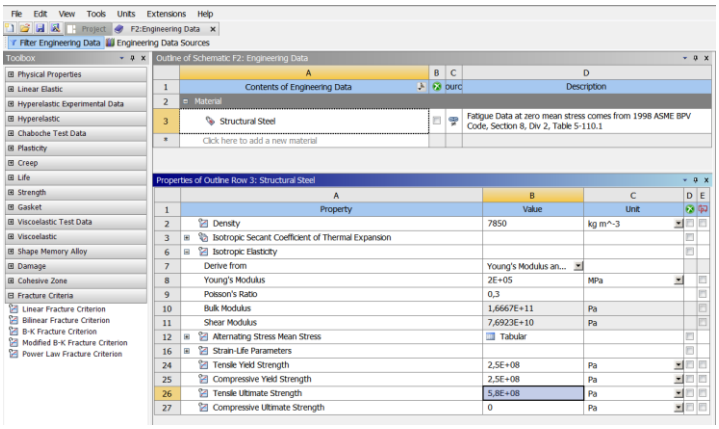


Figura 50. Propiedades mecánicas del material. [Fuente: Autores]

7.4 Geometry

La opción de *Geometry* permite exportar archivos que contengan el elemento desde otros programas tales como Inventor, SolidWord, etc. o dibujarlo dentro del espacio de trabajo que ofrece Ansys, en este caso se procede a dibujar el perfil y luego se extruye conforme a las siguientes medidas: largo = 3 m, Ancho = 0,07 m, Alto = 0,2 m y Espesor 0,003 m (ver Figura 51).

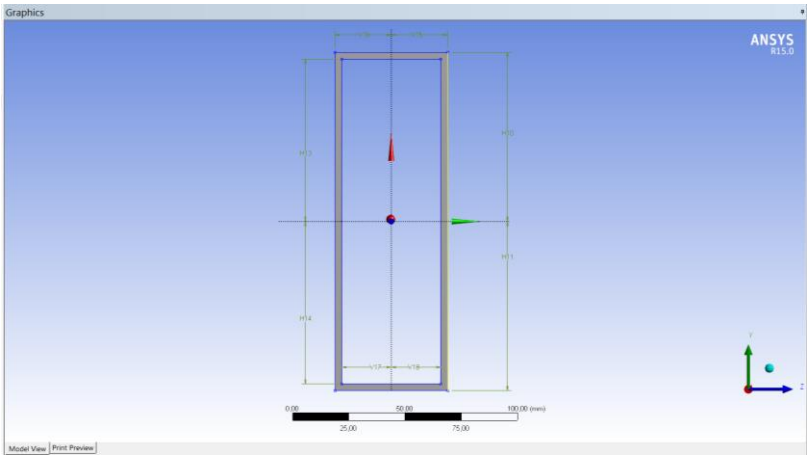


Figura 51. Dimensiones y cotas del perfil rectangular. [Fuente: Autores]

Configuradas las medidas del perfil rectangular correctamente la extrucción del perfil se lo realiza en dirección al eje “x” positivo, obteniendo un sólido como se aprecia en la Figura 52.

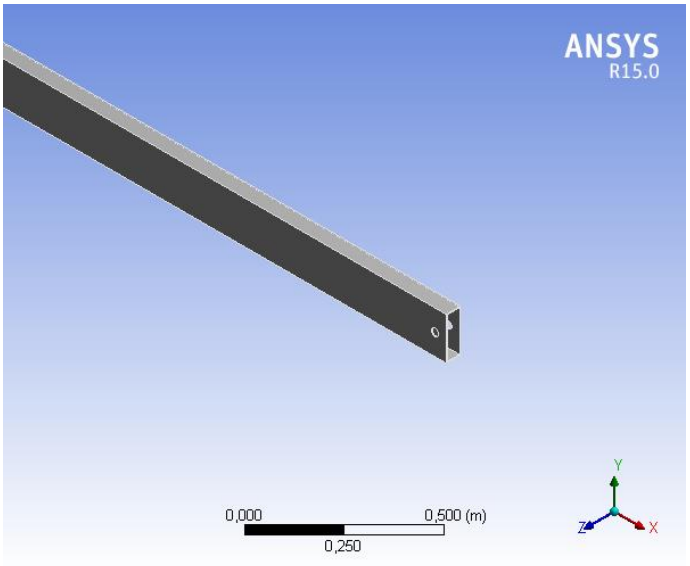


Figura 52. Perfil Rectangular 3D. [Fuente: Autores]

7.5 Model

7.5.1 Apoyos y Carga

Con ventana de ***Model*** se procede a etiquetar en el elemento la ubicación de cada uno de los puntos que servirán de apoyo y en donde se ubicará la carga, descrito en el capítulo anterior (ver Figura 53).

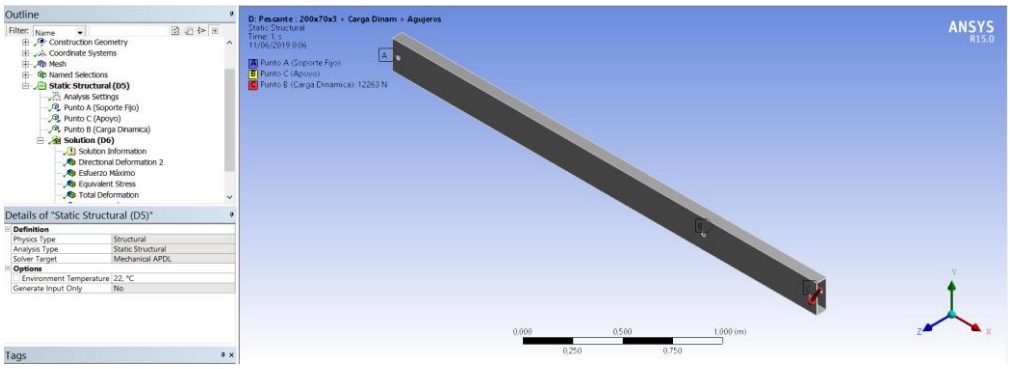


Figura 53. Espacio de trabajo para simulación de cargas. [Fuente: Autores]

7.5.2 Malla (Mesh)

La malla que conforma el pescante es de tipo triangular de baja densidad debido a que su superficie es regular en su geometría, por ello para llegar a un resultado con mayor precisión se afina la malla desde la opción de *Elemet size* dándole un valor de 0,02 mm, además se agrega un afinamiento de la malla *Face Sizing* en las zonas de la cara cilíndrica de los agujeros donde existen una discontinuidad de material (ver Figura 54).

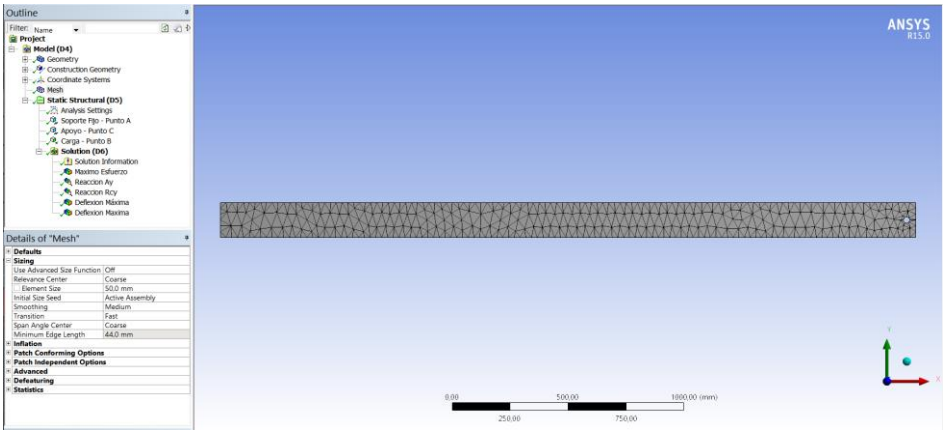


Figura 54. Elemento mallado. [Fuente: Autores].

7.6 Esfuerzo máximo

Para encontrar los valores a lo largo del pescante, se inserta una trayectoria (*Path*) dentro de la opción de *Construction Geometry*, luego de esto, el programa traza un segmento con puntos en un intervalo de 0.625 mm por defecto, en respuesta a esto el programa analiza el esfuerzo generado en cada uno de ellos. Con los valores obtenidos también se aprecia una gráfica para el análisis y discusión de los lugares que se debe tomar en cuenta como críticos o vulnerables a posibles fallas y posteriormente ser reforzados o definir un mayor espesor (ver Figura 55).

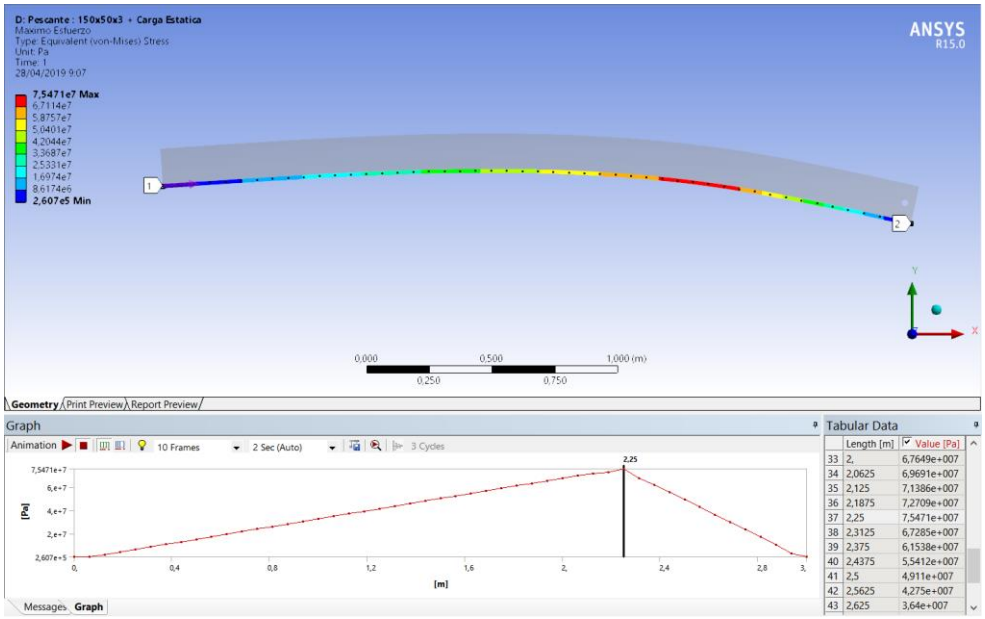


Figura 55. Gráfico de los esfuerzos producidos a lo largo del perfil rectangular. [Fuente: Autores]

En el punto C, se crea un agujero el cual servirá para colocar un perno y fijar un apoyo para elevar el pescante según se requiera (ver Figura 56), se escoge este punto por la razón que en esta ubicación los esfuerzos son críticos. Se calcula la concentración de esfuerzos que existe alrededor

del agujero de 1 pulgada de diámetro, por causa de las fuerzas internas que reaccionan en el eje "x" (*Tabla 5*) que se generan en este punto.

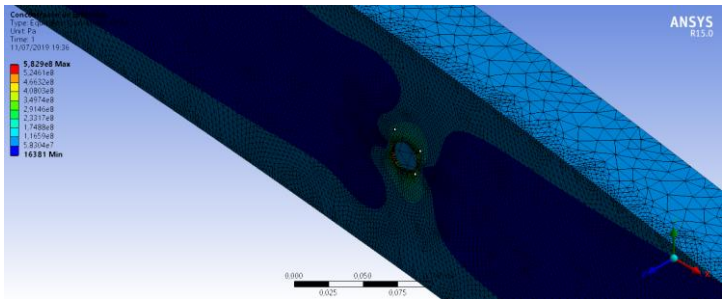


Figura 56. Concentración de esfuerzos en el punto de apoyo (Agujero). [Fuente: Autores]

7.7 Deflexión máxima

La carga en el extremo de la viga da origen a tensiones de corte y flexión en el perfil, a su vez lo deforma una cantidad de 3,74 mm en la zona del voladizo, esta medida no es influyente dado que se puede dar alternativas como reforzar la zona donde se sujeta o descansa el apoyo del punto C. (ver Figura 57)

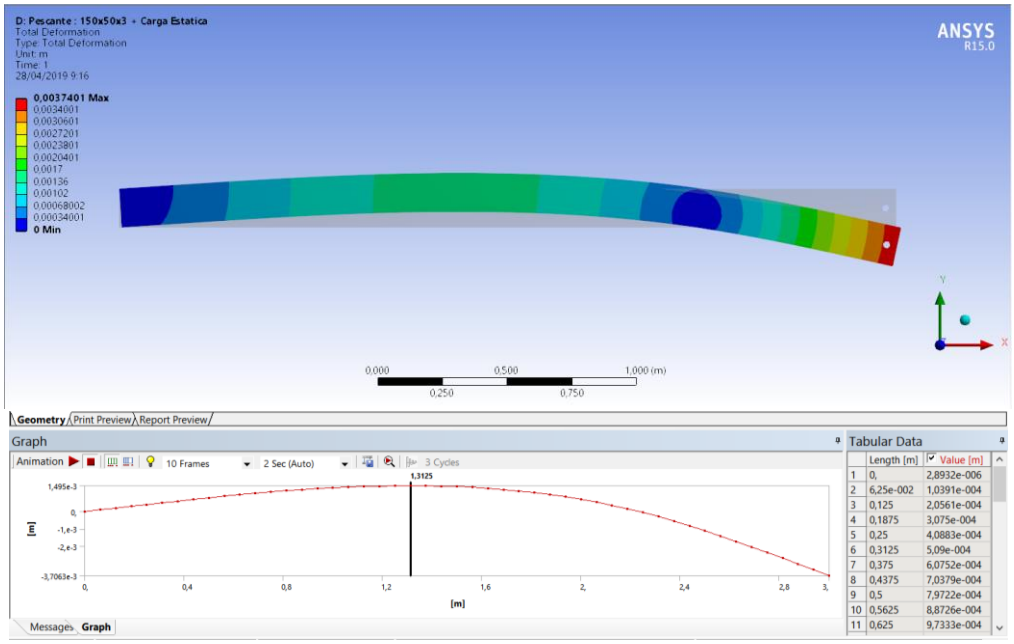


Figura 57. Deformación del perfil por cargas axiales. [Fuente: Autores]

7.8 Riel

El riel está construido por la unión soldada de tres elementos como es el tubo estructural de acero, platina base y platinas entrelazadas que conforman la celosía triangular, para el desplazamiento del andamio se conectan varios rieles con sus respectivos pernos en su ensamblaje, el análisis se realiza de manera individual a un solo riel (ver Figura 58).

Esta estructura empotrada en sus dos extremos y está sometida a una carga P/2 en el centro (1,5 metros desde sus extremos) como se aprecia en la Figura 37 a. Esta posición de la carga sucede cuando uno de los motores de arrastre en su desplazamiento se ubica en la mitad del riel causando un mayor momento.

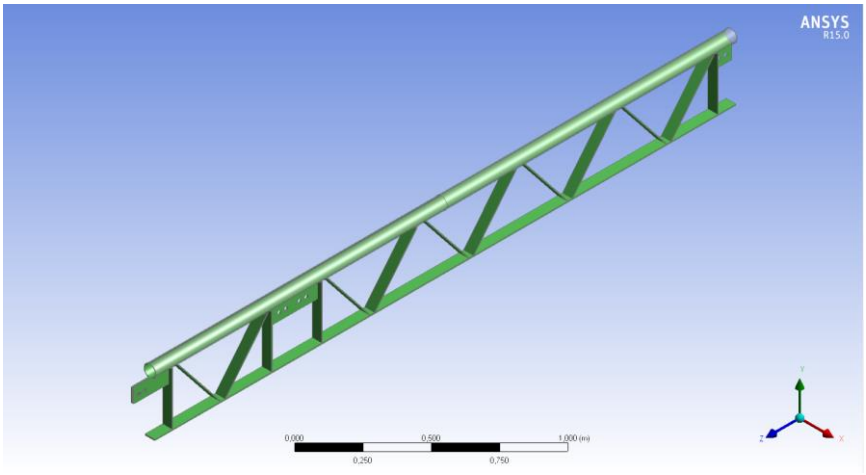


Figura 58. Elemento en 3D exportado a Ansys [Fuente: Autores].

7.9 Engineering Data

El acero estructural (*Structural Steel*) tendrá un valor de esfuerzo último a la tensión (*Tensile Ultimate Strength*) del acero ASTM A-36 igual a 58 ksi, este valor se lo modifica en la opción correspondiente (ver Figura 59).

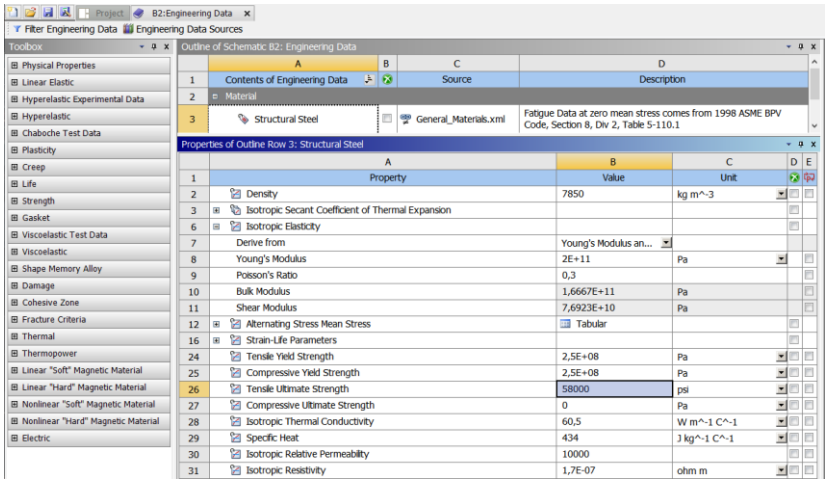


Figura 59. Características del Acero que compone el Riel. [Fuente: Autores]

7.10 Geometry

Por la geometría compleja del riel, se crea este elemento en Inventor® 2018 en un archivo .ipt como un elemento sólido unificado (sin ensambles, ni uniones soldadas), se traslada el archivo

hacia Ansys®, importándolo con la extensión .stp para que el software lo reconozca. Al riel se le añade un *FaceSplit* en el centro para posteriormente colocar la carga en ese punto (ver Figura 60).

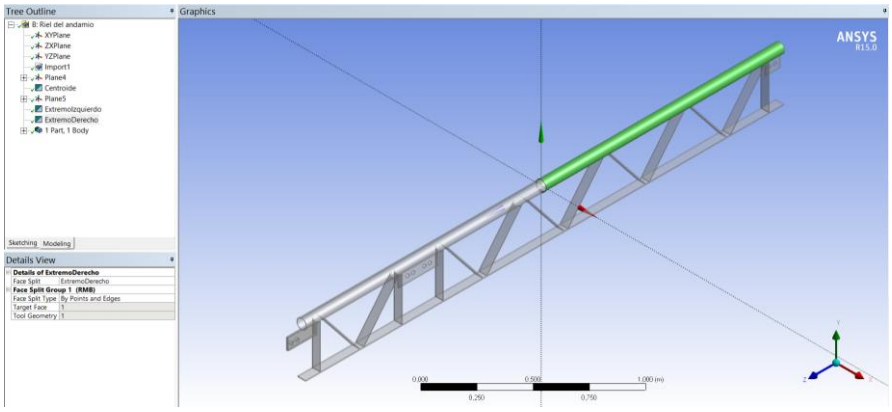


Figura 60. Elemento con *FaceSplit* en el centro. [Fuente: Autores]

7.11 Model

7.11.1 Apoyos y Carga

En la Figura 61 se muestran los extremos A y B los cuales son designados como soportes fijos (*Fixed Support*), debido a que tienen restringido su movimiento, además se coloca una carga igual a **-6128.8 N** en el eje "y" producida por el andamio como se describió en la Figura 36 a.

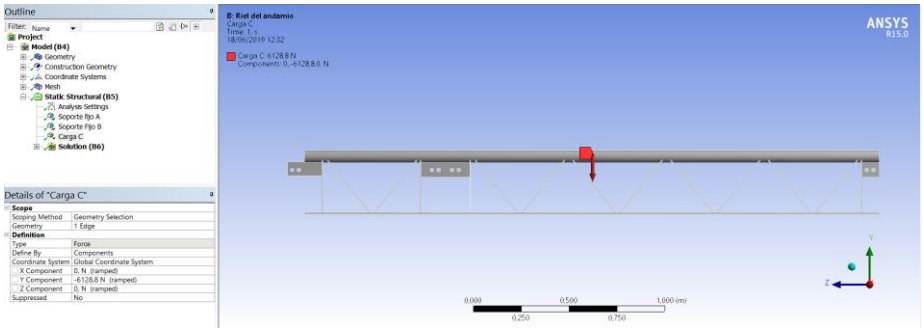


Figura 61. Riel con una carga puntual en el centro. [Fuente: Autores]

7.11.2 Mallado (Mesh)

El mallado se afina de manera que requiera acercarse al resultado analítico para ello en la opción de *Element size* a 0,01 metros dentro del *Sizing* (ver Figura 62).

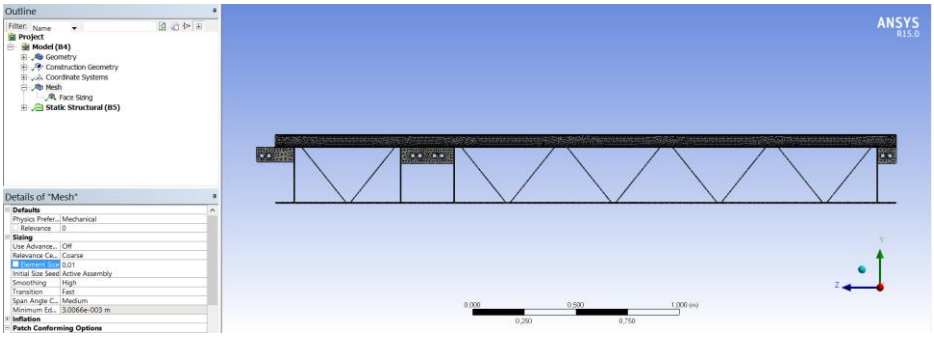


Figura 62. Elemento con mallado fino. [Fuente: Autores]

Además, se coloca un *Face Sizing* para obtener un mallado adicional en las zonas críticas como es el tubo redondo, ciertas áreas de las caras centrales de la platina base y en su cara inferior (Color verde), para tomar las muestras de esfuerzo y deformación (ver Figura 63).

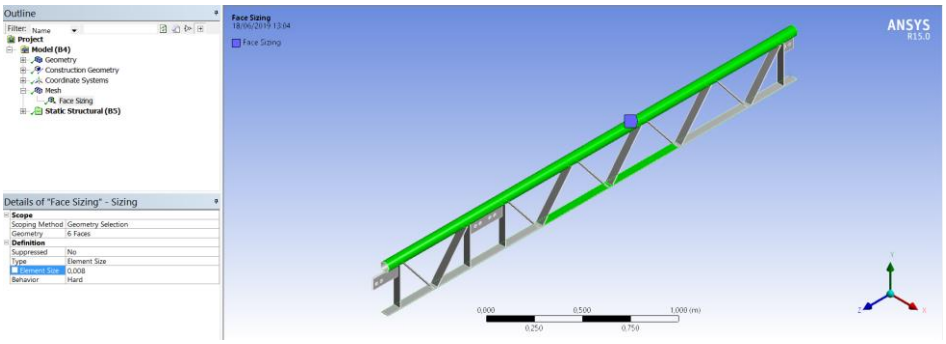


Figura 63. Sectores con seleccionados para refinamiento de malla. [Fuente: Autores]

7.11.3 Esfuerzo Máximo

El mayor esfuerzo se encuentra en la platina base del riel, y puntualmente en las zonas que existe discontinuidad de las celosías. Estas son zonas de posibles fallas en el caso de que el factor de utilización fuese mayor a uno (ver Figura 64).

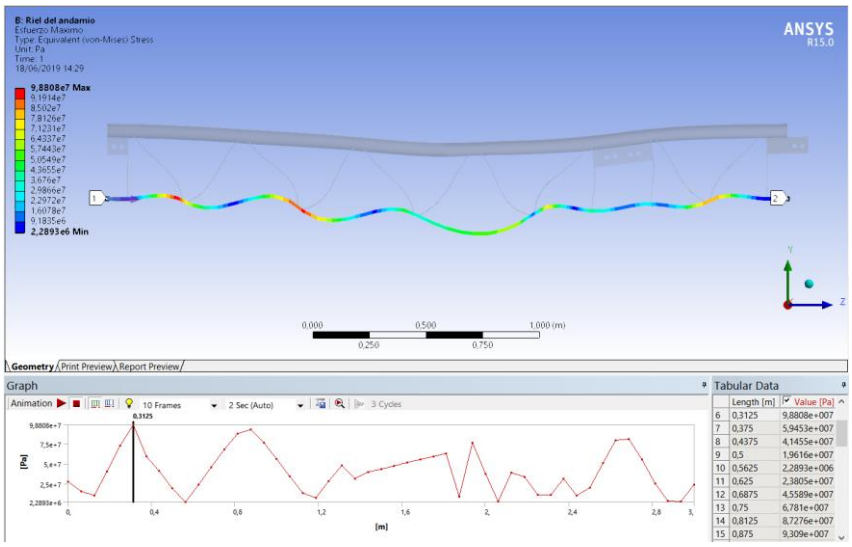


Figura 64. Puntos donde se producen mayor esfuerzo. [Fuente: Autores]

7.11.4 Deflexión máxima

En el caso de la deflexión del riel, se observa que existe un desplazamiento en el eje “y” menor a un milímetro, la parte más afectada es donde se ubica la carga a pesar de ello no es una deformación que requiera ser reforzada porque es una cantidad muy pequeña (ver Figura 65).

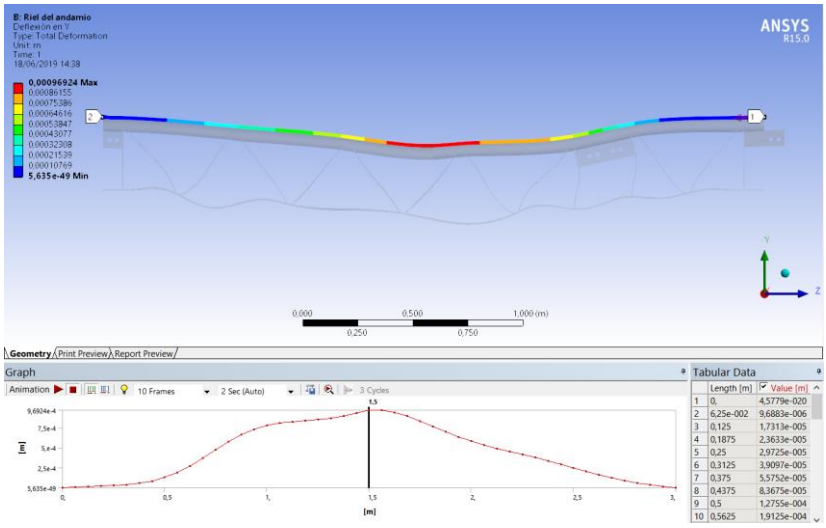


Figura 65. Deflexión por carga puntual en el centro. [Fuente: Autores]

8. Resultados

El sistema de andamio colgante es un conjunto de elementos donde cada uno cumple una función específica, lo que les convierte en piezas importantes para el correcto y simultaneo funcionamiento, se ha hecho énfasis en tres elementos críticos para su cálculo, diseño y validación, debido a que estos están propensos a volcamiento, flexión y rotura además de ser la base donde se suspende la plataforma.

8.1 Pescante

El pescante es el miembro que soporta la carga en uno de sus extremos la carga ejercida por la plataforma o canastilla, en su otro extremo está restringida a cualquier movimiento por causa del contrapeso y al mismo tiempo está sometido a flexión. Los valores tomados para su análisis son los más críticos, como es el momento máximo formado a lo largo del pescante, del cual se partió para proponer un perfil con dimensiones adecuadas, que estén dentro de un factor de utilización. Los cálculos de esfuerzo máximo están por debajo del 5% de error y para el caso de la deflexión entre los puntos A y C (ver Figura 55) tenemos un valor 1,6 milímetros de desplazamiento en el instante que el pescante tiene una carga dinámica en el límite permitido (500 kg x 2.5).

Tabla 9. Comparación de resultados analíticos y Ansys obtenidos para el pescante. [Fuente: Autores]

			Cálculo Analítico	Cálculo Ansys	Error
Esfuerzo Máximo	σmax	*[Pa]*	99664093,2	103890000	4,2%
Deflexión en "Y"	$y max$	*[m]*	0,001548	0,0011708	24,4%

Concentración de esfuerzos

Las fuerzas internas generadas alrededor del agujero en el punto C, crean un esfuerzo promedio a tensión y estos esfuerzos se analizan en zonas con discontinuidad de material para ello se utilizó el diagrama presentado en la figura 35, también se debe tomar en cuenta que el esfuerzo promedio

es indirectamente proporcional al área del perfil. Si se reduce el área, aumenta el esfuerzo promedio y si aumenta el área sucede lo contrario con el esfuerzo promedio.

Tabla 10. Resultados analíticos y de Ansys para la concentración de Esfuerzos. [Fuente: Autores]

			Cálculo Analítico	Cálculo Ansys	Error
Concentración de Esfuerzos	$\sigma prom$	*[Pa]*	582900000	611400000	4,89%

Para esfuerzos críticos elevados se opta por aumentar el área del perfil, soldando una pieza metálica alrededor del agujero reforzando dicha sección o disminuyendo el diámetro del agujero.

8.2 Riel

Una condición especifica que debe satisfacer el riel es la de ser indeformable en su geometría por la carga que estará sometido constantemente. Este tipo de elemento reticulado en celosías reciben el nombre de estructuras trianguladas, existen diferentes configuraciones o combinaciones (ver Figura 66), se eligió la de tipo Warren para el análisis debido a que requiere menor material, lo cual es efectivo para economizar su fabricación y además ofrece una alta resistencia para la finalidad que se requiere esto se lo comprueba con el análisis computacional conjuntamente con el cálculo del factor de utilización, el mismo que sí satisface. También el valor de deflexión del riel es menor a un milímetro, dando como resultado un elemento apropiado en sus dimensiones para su construcción.

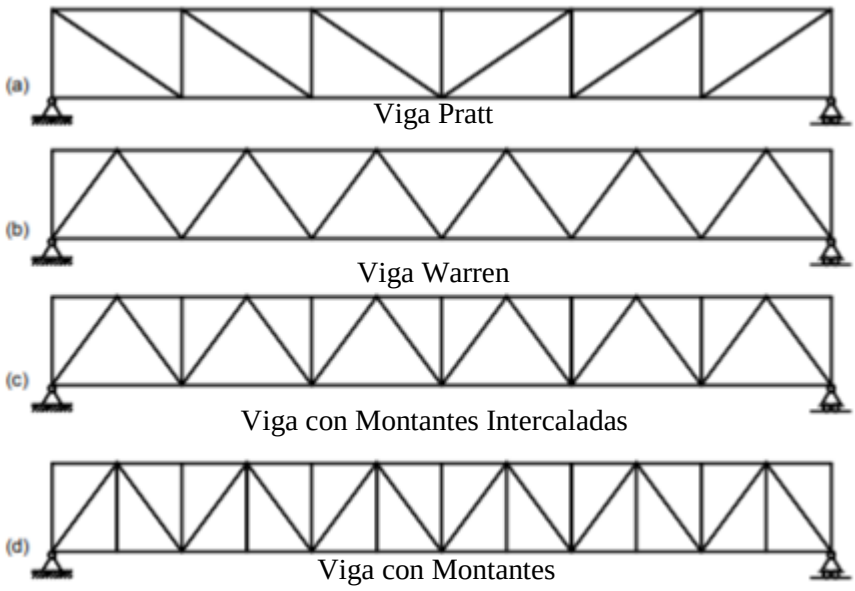


Figura 66. Ejemplos de estructuras trianguladas. [19]

Tabla 11. Comparación de resultados analíticos y Ansys obtenidos para el Riel. [Fuente: Autores]

			Cálculo Analítico	Cálculo Ansys	Error
Esfuerzo Máximo	*σmax*	*[Pa]*	101646389,9	98808000	2,8%
Deflexión en "Y"	*ymax*	*[m]*	0,0009694	0,00096924	0,0165%

9. Factores de Temperatura

La estructura está expuesta al aumento de temperatura, este incidirá en la expansión térmica, como resultado aumenta la longitud del mismo, para ello se toma las siguientes consideraciones en cuanto a las variaciones de temperatura [28]:

- Estructuras metálicas a la intemperie y expuestas a la radiación solar directa, δT°=30°
- Estructuras a la intemperie en los demás casos, δT°=20°
- En las estructuras con revestimiento que aseguren una variación de temperatura no superior a δT°=10° puede prescindirse de considerar las acciones térmicas.

El coeficiente de dilatación del acero es α=0,000012 mm/°C. De acuerdo a la norma NTP 200, al existir libertad de dilatación no se plantean grandes problemas de corrección, lo que sucede con este sistema de andamio móvil, ya que sus elementos no están fijo o anclados de forma permanente para que exista una acumulación de tensiones, pero si la dilatación estuviera restringida en mayor o menor grado por los componentes de su estructura que lo conforma, aparecen esfuerzos complementarios que hay que tener en cuenta [29].

10. Costos de fabricación

La determinación de los costos de fabricación se realiza en base a tres puntos importantes, para cada elemento que constituye el andamio colgante:

- Proceso de fabricación
- Elementos normalizados
- Mano de obra

10.1 Conjunto de apoyo y estabilidad del andamio colgante

Este conjunto será el encargado de soportar a la plataforma, estará conformado por pescante, canastilla de contrapeso y tirante. Básicamente el pescante es un perfil rectangular que requiere una medida de tres metros de largo y ser perforada en sus extremos para la sujeción al contrapeso, al riel y entre estos se encuentra sujeto el apoyo o tirante (ver Figura 67).

La canastilla se encuentra con sus respectivos contrapesos, restringiendo el movimiento o el mismo vuelco, la función del tirante o apoyo también es dar altura al punto de sujeción del riel, debido a cualquier obstáculo u objeto que se encuentre en la cubierta.

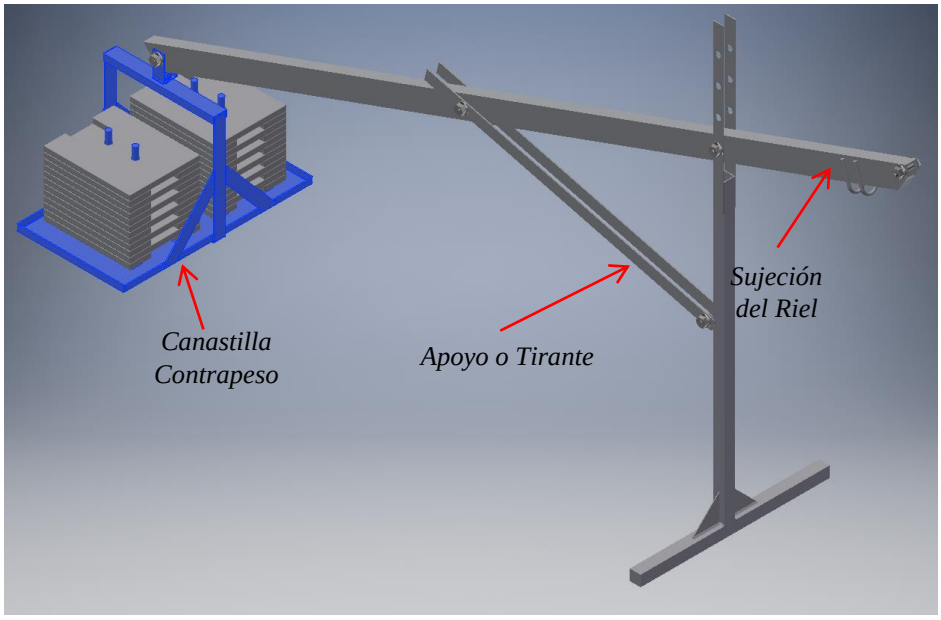


Figura 67. Sistema de apoyo y estabilidad del andamio colgante. [Fuente: Autores]

A continuación, se presenta el costo de los materiales y entre ellos sus accesorios que complementan su ensamblaje, detallando los elementos normalizados que se requiere. Los proveedores a los que se consultan la disposición de los materiales son locales como son la empresa IPAC, Banco del Perno y Dipac, cumpliendo con los requerimientos necesarios tanto en calidad como también en normalización de sus productos.

Tabla 12. Costos de materiales y accesorios para el conjunto de apoyo. [Fuente: Autores]

	Item	Descripción	Cant.	Costo Unit. (USD)	Costo Total (USD)
		Pescante			
Materiales	1	Perfil Rectangular 200x70x3000 [mm] - ASTM A500 Gr B	2	$ 45,00	$ 90,00
	2	Varilla Redonda Acero ø6x300 [mm]	4	$ 5,00	$ 20,00
Accesorios	3	Tornillo DIN6921 M20x100 [mm]	6	$ 1,10	$ 6,60
	4	Tuerca DIN6923 M20	6	$ 0,50	$ 3,00
	5	Arandela presión M20	12	$ 0,40	$ 4,80
		Tirante o Apoyo			
Materiales	7	Perfil Cuadrado 50x50x2000 [mm] - ASTM A500 Gr B	2	$ 25,00	$ 50,00
	8	Platina Laminada ASTM A36 - SAE1008 50x4x1200 [mm]	4	$ 8,00	$ 32,00

	9	Platina Laminada ASTM A36 40x4x1200 [mm]	4	$	6,50	$	26,00
Accesorio	10	Tornillo DIN6921 M20x100[mm]	4	$	1,10	$	4,40
	11	Tuerca DIN6923 M20	4	$	0,50	$	2,00
	12	Arandela presión M20	8	$	0,40	$	3,20
		Canasta para Contrapesos					
Materiales	13	Perfil "U" 50x25x3x1600 [mm] - ASTM A36 - SAE J403 1008	2	$	28,00	$	56,00
	14	Plancha ASTM A36 400x700x4x1200 [mm]	2	$	25,00	$	50,00
	15	Platina Laminada ASTM A36 40x4x1200 [mm]	2	$	6,50	$	13,00
	16	Plancha Laminada ASTM A36 400x400x20 [mm]	40	$	27,00	$	1.080,00
	17	Tornillo DIN6914 M20x45[mm]	2	$	0,85	$	1,70
	18	Tuerca DIN6915 M20	4	$	0,50	$	2,00
	19	Arandela presión M20	8	$	0,40	$	3,20
					Total	**$**	**1.447,90**

El costo de la mano de obra y los procesos mecánicos (máquinas y herramientas) requeridos también son presentados en la Tabla 13. El corte plasma y la fresadora son procesos exclusivos para la fabricación de los contrapesos.

Tabla 13. Costos y cantidades de horas/máquina para la fabricación. [Fuente: Autores]

Item	**Maquina**	**Costo/Hora**		**Tiempo**	**Costo**	
		USD/Hora		**Horas**	**USD**	
1	Taladro	$	2,00	3	$	6,00
2	Fresadora	$	8,00	20	$	160,00
3	Corte Plasma	$	2,00	20	$	40,00
4	Soldadora SMAW	$	2,00	20	$	40,00
5	Mano de obra	$	3,00	80	$	240,00
				Total	**$**	**486,00**
	Costo final del conjunto de apoyo				**$**	**1.943,90**

10.2 Riel de traslación horizontal

El riel se constituye como una viga que soporta las cargas puntuales provocadas por la plataforma y el deslizamiento del carro de traslación se realizará sobre el tubo redondo donde la celosía juega un papel importante en la rigidez y resistencia del riel (ver Figura 68).

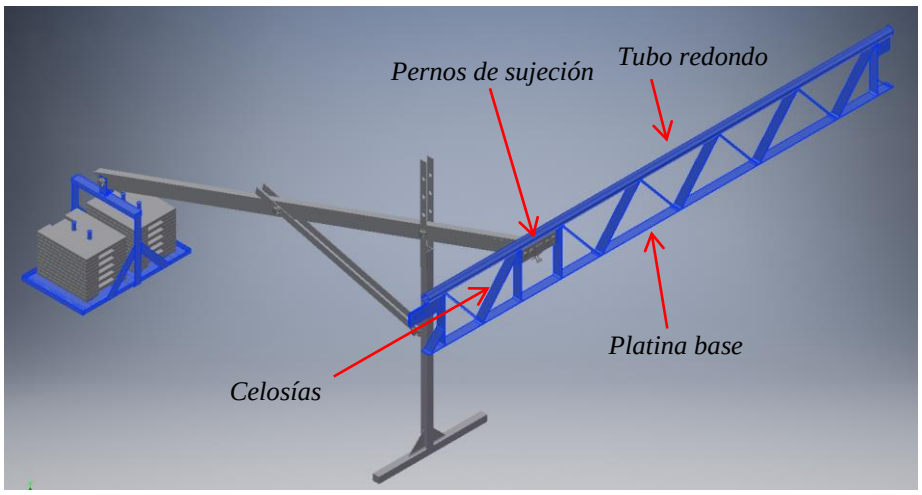


Figura 68. Sujeción del riel al pescante del andamio colgante. [Fuente: Autores]

Los materiales ennumerados se son de procedencia de casas comerciales de la localidad, mismas que se mencionaron en la seccion 9.1.

Tabla 14. Costos de materiales y accesorios para el riel de traslación horizontal. [Fuente: Autores]

	Item	Descripción	Cant.	Costo Unit. (USD)	Costo Total (USD)
		Riel de traslación			
Materiales	**1**	Tubo Estructural Redondo ø2”½x3x3000 [mm] - ASTM A500	1	$ 58,00	$ 35,00
	2	Platina Laminada ASTM A36 - SAE1008 2”½x6x3000 [mm]	1	$ 25,00	$ 25,00
	3	Platina Laminada ASTM A36 - SAE1008 2”½x4x6000 [mm]	1	$ 20,00	$ 20,00
Accesorios	**4**	Tornillo DIN6914 M14x30 [mm]	8	$ 1,20	$ 9,60
	5	Tuerca DIN6915 M14	8	$ 0,80	$ 6,40
	6	Arandela presión M14	16	$ 0,40	$ 6,40
				Total	**$ 125,40**

Para este la fabricación se requiere garantizar la unión sólida y resistente de las celosías, por lo cual se usará un proceso de soldadura GMAW.

Tabla 15. Costos y cantidades de horas/máquina para la fabricación. [Fuente: Autores]

Item	Máquina	Costo/Hora USD/Hora	Tiempo Horas	Costo USD
1	Taladro	$ 2,00	2	$ 4,00
2	Guillotina para corte	$ 5,00	3	$ 15,00
3	Soldadora GMAW	$ 10,00	8	$ 120,00
4	Mano de obra	$ 3,00	40	$ 240,00
			Total	**$ 219,00**
			Costo final del riel de traslación	**$ 344,40**

10.3 Plataforma

La plataforma es un elemento desmontable ya que todos sus partes se ensamblan a través de pernos de sujeción (ver Figura 69).

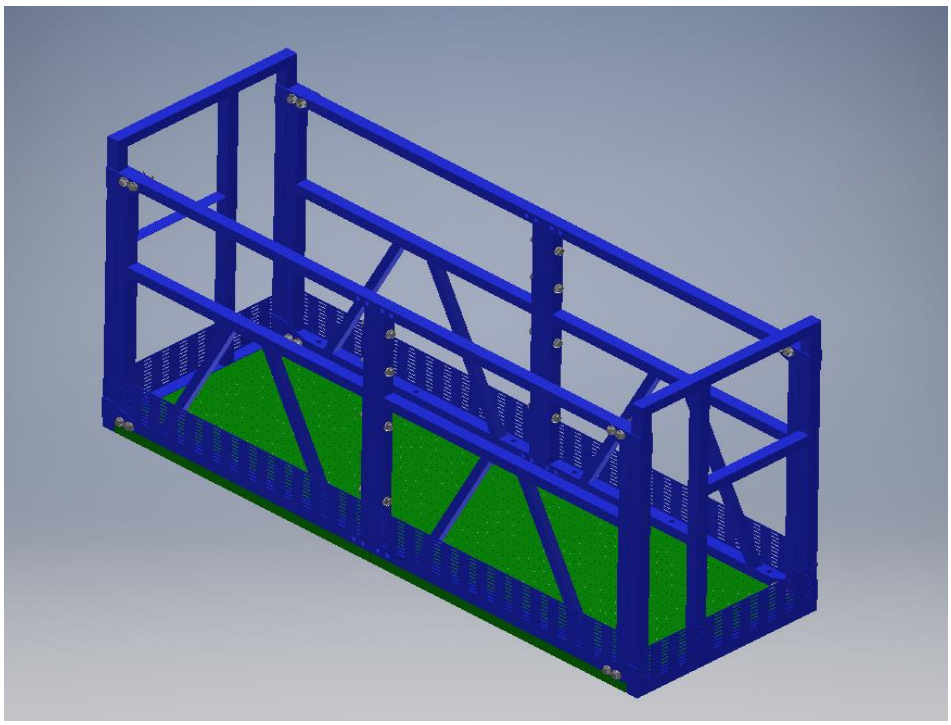


Figura 69. Plataforma. [Fuente: Autores]

Tabla 16. Costos de materiales y accesorios para la plataforma. [Fuente: Autores]

	Item	Descripción	Cant.	Costo Unit. (USD)	Costo Total (USD)
		Plataforma			
Ma	1	Tubo Estructural Cuadrado 40x40x6000 [mm] - ASTM A500	6	$ 23,00	$ 138,00

	2	Tubo Estructural Cuadrado 30x30x6000 [mm] - ASTM A501	4	$	21,00	$	84,00
	3	Perfil "L" ASTM A36 - SAE1008 40x4x3000 [mm]	1	$	20,00	$	20,00
	4	Plancha acero antideslizante A36 70x2x1000 [mm]	2	$	25,00	$	50,00
	5	Rodapié de Acero ASTM A36 150x2x1000 [mm]	6	$	10,00	$	60,00
Accesorios	3	Tornillo DIN6921 M16x100 [mm]	20	$	1,38	$	27,60
	4	Tuerca DIN6923 M16	16	$	0,80	$	12,80
	5	Arandela presión M16	52	$	0,40	$	20,80
				Total		$	413,20

Tabla 17. Costos y cantidades de horas/maquina dentro del procedimiento de fabricación. [Fuente: Autores]

Item	**Maquina**	**Costo/Hora**		**Tiempo**	**Costo**	
		USD/Hora		**Horas**	**USD**	
1	Taladro	$	2,00	4	$	8,00
2	Cortes	$	2,00	3	$	6,00
3	Soldadora SMAW	$	10,00	10	$	100,00
4	Mano de obra	$	3,00	40	$	120,00
				Total	**$**	**234,00**
				Costo final de la plataforma	**$**	**647,20**

10.4 Aparejo de elevación y traslación

Los aparejos de elevación se cotizan través de la empresa *Sky Coloring* de la cuidad de Bogotá, Colombia, se recurre a esta entidad debido a que en el país no se cuenta con sistemas similares o ejemplares, las dos empresas mencionadas se dedican a la producción y comercialización de estos sistemas y por la misma razón tiene certificación de la UNE 1800 que garantiza un funcionamiento seguro, en la siguiente tabla se muestra los valores de los costos del sistema de elevación y traslación que proforma *Sky Coloring* y el mismo se puede apreciar en el anexo 3.

Tabla 18. Costos del aparejo de elevación. [Fuente: Autores]

Descripción	**Precio Unitario** USD	**Cantidad**	**Total**
Aparejo de elevación	$1000	2	$2000

Se presenta el costo total del sistema en base a los costos de los elementos que se mencionaron anteriormente, los mismos que conforman el andamio colgante, en una situación de puesta en servicio de un edificio de 90 metros de altura y una extensión de 9 metros para su desplazamiento horizontal.

Tabla 18. Costos del aparejo de elevación. [Fuente: Autores]

Item	Elemento	Cant.		Valor Unit.		Total
1	Conjunto de apoyo	4	$	3391.80	$	13.567,20
2	Riel Horizontal	3	$	469,40	$	1.408,20
3	Plataforma	1	$	1060,40	$	1.060,40
4	Aparejo de elevación	2	$	2000,00	$	4.000,00
5	Aparejo de traslación	2	$	2013,00	$	4.026,00
5	Cables 100 metros	4	$	175,00	$	700,00
				Total	$	24.761,80

Haciendo una comparación de entre el sistema de andamio suspendido que ofrece *Sky Coloring* (Anexo 4) con el sistema planteado en este documento, se requiere adquirir tres plataformas para cubrir el mismo espacio de trabajo. Este valor adquisitivo rodea los $30.000, además de tener la desventaja de un sistema que únicamente se desplaza en dirección vertical por ello se requiere más plataformas, también aumenta el tiempo de instalación ya que es necesario mover constantemente el conjunto de apoyo manualmente para desplazar horizontalmente la plataforma.

11. Planos y particulares

Como parte del diseño se adjunta como anexo 5, los planos respectivos de los elementos más relevantes en este proceso de diseño y validación para proceder a fabricar el andamio colgante de desplazamiento horizontal y vertical.

12. Conclusiones

Los andamios de uso más común en el país son los de tipo tubulares, para llegar a grandes alturas se arman en forma de torre sin respetar una altura máxima, y exponiendo a riesgos a sus operadores, esto sucede por abaratar costos en los procesos de mantenimiento de fachadas o en la construcción y también porque las cubiertas de ciertos edificios no fueron acondicionadas para la colocación o fijación de andamios colgantes para su futuro mantenimiento.

Los objetivos planteados para el diseño de un andamio colgante de desplazamiento horizontal y vertical se cumplieron en su totalidad. La selección de partes normalizadas como motores, cables, rodamientos, etc. además la validación de los cálculos de dimensionamiento a través de

herramientas computacionales ratifica que se utilizaron las normas, protocolos y procedimientos adecuados.

El enfoque del diseño del sistema en general se centró en tres componentes importantes, como son el subsistema de cables, el subsistema pescante y el subsistema riel, donde se comprueba su efectiva aplicación con valores de factores de utilización correctos y normativa pertinente.

En el Ecuador no se utiliza un sistema de andamiaje que cumpla con todos los requisitos de seguridad, ergonomía y calidad presentada en los apartados de las normas técnicas, esta afirmación se fundamenta en los resultados de una búsqueda exhaustiva sobre el uso de estos equipos en el área de la construcción, lo que fundamentó la realización del presente proyecto de diseño.

El modelo de sistema de andamios colgantes con desplazamiento horizontal y vertical utilizado como base para el diseño de un sistema similar adaptado a la realidad de la construcción en el Ecuador, representa un claro ejemplo de transferencia de tecnología.

El sistema de andamios colgantes con desplazamiento horizontal y vertical es ampliamente utilizado en países europeos y se ha verificado también que en Chile también se utiliza para la construcción y mantenimiento de edificaciones de gran altura.

El andamio colgante está pensado para su aplicación en edificios que se requiere acceder desde su cubierta de esta manera se elimina la posibilidad de colocar andamios tubulares en forma de torre desde el suelo, la altura máxima en la que se calculó los tipos de cables a utilizarse fue de 90 metros, ya que es la altura del edificio más grande del Ecuador (NOVIS), ubicado en Guayaquil, según la norma NTP 977 el andamio no debe instalarse a alturas superiores a 200 metros. Se determinó una capacidad máxima para el andamio de 500 kg el cual es una carga que acoge a dos operarios con sus respectivas herramientas de trabajo, además los cálculos se realizaron en los eventos más desfavorables es decir se amplifico la carga 2.5 veces, las velocidades de ascenso y descenso están restringidas por el aparejo de elevación las mismas que están entre 6 – 10 metros por minuto, este es un requerimiento propuesto en la norma europea EU 1800.

13. Recomendaciones

Los motores, aparejo de elevación y freno de seguridad son conjuntos de elementos eléctricos que se encuentran disponibles para su venta en países como Colombia y Perú, mas no en el Ecuador, los mismos que son países fabricantes y ofrecen este tipo de productos con certificación CE. Se ha recomendado la marca *Sky Coloring* por su fácil acceso en el vecino país Colombia. Para el caso de los cables deben llevar una inspección rutinaria, además de tener un minucioso método de almacenamiento y mantenimiento.

Si al momento de construir los elementos analizados en este proyecto se cambian el tipo de material o calidad de acero se deberá calcular nuevamente la resistencia del mismo aplicando la misma carga utilizada, se recomienda pedir una ficha técnica de los materiales al distribuidor.

En la Universidad Politécnica Salesiana se han realizado varios proyectos de diseño en donde se han utilizado distintos protocolos, procedimientos y normas, se recomienda a los lectores, sobre todo a los estudiantes de ingeniería que acudan a ellos como una guía valiosa para emprender propuestas de diseño, en este sentido podrán encontrar trabajos de diseño de una central hidroeléctrica [23], implementación de un banco tipo túnel de viento [24], diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera [25], diseño de un sistema de enfriamiento de agua con control de pH [26], diseño de un homogeneizador por inmersión de alto cizallamiento [27] principalmente.

Bibliografía

[1] INEC, «Encuestas de edificaciones 2015: Permisos de contrucción,» INEC, Instituto de estadisticas y censos, Ecuador, 2015.

[2] F. Noriega, Evaluación de Riesgos Laborales en el Uso de Andamios más Comúnes en la Construcción, España: Universitas Miguel Hernández, 2016.

[3] R. S. Reyes, Seleccion, proyecto,supervision y control de andamios tubulares, suspendidos y multidireccionales, para diversos tipos de obra de ingenieria civil, 2007.

[4] L. G. García., «Manual de Prevencion de Riesgos Laborables en Andamios,» Escuela de arquitectura e ingenieria de Edificacion, Universidad Politecnica de Cartagena, 2014.

[5] L. A. Ortega, «Procedimiento de trabajo de seguro en el montaje de un andamio colgante de accionamiento motorizado.,» Universidad de Alicante, 2015.

[6] J. Tamborero del Pino, NTP 530: Andamios Colgados Moviles de Accionamiento Manual (I) - Normas Constructivas, España: Instituto de seguridad e Higiene en el Trabajo, 1999.

[7] J. Tamborero del Pino, NTP 970: Andamios colgados móviles de accionamiento manual (II): normas de montaje y utilización, España: Instituto de seguridad e Higiene en el Trabajo, 2013.

[8] J. Tamborero del Pino, NTP 976: Andamios colgados moviles de accionamiento motorizados (I), España: Instituto de seguridad e Higiene en el Trabajo, 2013.

[9] J. Tamborero del Pino, NTP 977: Andamios Colgados Móviles de Accionamiento Motorizado (II), España: Instituto Nacional de Seguridad en el Trabajo - INSHT, 2013.

[10] C. Velasquez, Propuesta de un plan de seguridad en la operación de andamios con plataforma suspendida de nivel variable en edificios, Lima: Universidad Nacional de Ingenieria, 2013.

[11] Norma Europea, EN 1808: Requisitos de Seguridad para plataformas suspendias de nivel variable. Calculos de Diseño, Criterios de estabilidad, Costrucción., España: AENOR, 2000.

[12] M. Dyvinetz, C. Bloj y R. Roberts, NCh 666: Cables de acero - Terminologia y clasificación., Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización, 1999.

[13] W. World Group, «Cables de Acero - Catalogo,» Camesa, Mexico, 2008.

[14] Direccion de Administracion y Proteccion de Recursos, «NEO 1: Manejo de Cargas con Cables de Acero, Eslingas/Estrobos,» de *Norma Estandar Operacional*, División Cuquicamata, Codelco - Chile, p. 98.

[15] DICTUC S.A, «Informe de Evalución de Cumplimeinto Normativo de Diseño,» Divisioón Ingenieria Estructural y Geotécnica., Santiago de Chile, 2010.

[16] M. Dyvinetz, C. Bloj y R. Roberts , NCH 885: Cable de Acero, Seleccion, Diseño de la instalación, Seguridad, Uso y Cuidado., Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización, 1999.

[17] C. Montoya, Plaraformas Suspendidas, Bogotá: Sky Coloring .

[18] M. Europea, Andamios Delizantes - Catalogo General, España: Maquigestión Europea, 2005.

[19] A. Guardiola , Diseño y Predimensionado de una celosia de cordones paralelos, Valencia: Escuela Técnica superior de Arquitectura, 2013.

[20] M. S. Abellán, Trabajo fin de máster: Evaluación de riesgos laborales en el uso de los andamios mas comunes en construcción, España: Universidad Miguel Hernández, 2016.

[21] NEC, «Anuario de estadisticas de edificaciones,» Direccion de comunicacion social, Ecuador , 2014.

[22] F. Beer , R. Johnston, J. DeWolf y D. Mazurek, Mecánica de Materiales, Quinta ed., Mexico: Mc Graw Hill , 2009.

[23] M. Palomeque, I. Valdez y N. G. Jara, «Diseño de una central hidroelectrica para abastecer la demanda del consum electrico de plantaciones Malima CIA. LTDA, vol. B.S. Thesis, Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana, 2019.

[24] H. F. Neira Calderon y N. G. Jara Cobos, «Implementación de un banco de ensayos tipo el de viento para la selección de ventiladores de refrigeradores domésticos en la UPS Cuenca», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2018.

[25] A. A. Márquez Quizhpi, J. P. Ulloa Montero, y N. G. Jara Cobos, Diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la Fundación Salesiana" PACES"», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2018.

[26] C. P. Campoverde Quito, P. I. Pinos Zhingre, y N. G. Jara Cobos, «Diseño e implementación de un sistema autónomo de enfriamiento de agua con control de pH y agentes contaminantes, para el proceso de refrigeración en la sección de la Tubera Doble de la Empresa Continental Tire Andina SA, B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2016.

[27] W. O. Sanmartin Hurtado, J. M. Ramón Benenaula, y N. G. Jara, «Diseño y construcción de un homogeneizador por inmersión de alto cizallamiento, para la empresa FORMALAB, B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2016.

[28] E. Gustin, J. Diehl, «Estructuras Metalicas, Editores Tecnicos Asociados S.A, Barcelona – España, 1980.

[29] S. Gonzales, «NTP 200 Estructuras metálicas: comportamiento frente al fuego (I), Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, España

Anexo 1: Cable Cobra - Prodinsa

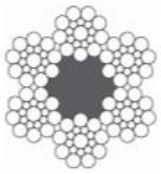
PRODINSA

ISO 9001

ISO 14001

Lloyd's Register

COBRA



6x19 s AF

6x26 ws AF

Ø Nom (pulg.)	Ø Nom (mm)	Carga de rotura mínima garantizada (kN)	(1000 lb)	(tm)	Peso lineal (kg/m)
	9	55	12,3	5,6	0,30
3/8"	9,5	62	13,9	6,3	0,34
	10	68	15,2	6,9	0,37
	11	82	18,5	8,4	0,45
1/2"	13	115	25,8	11,7	0,63
9/16"	14	133	30,0	13,6	0,73
5/8"	16	175	39,2	17,8	0,95
	18	221	49,6	22,5	1,20
3/4"	19	246	55,3	25,1	1,34
	20	273	61,3	27,8	1,49
7/8"	22	330	74,1	33,6	1,80
	24	392	88,2	40,0	2,14
1"	26	461	103,6	47,0	2,51
	28	534	120,2	54,5	2,91
1 1/8"	29	573	128,7	58,4	3,13
	30	601	135,1	61,3	3,35
1 1/4"	32	697	156,7	71,1	3,81
	34	787	177,0	80,3	4,30
1 3/8"	35	835	187,6	85,1	4,55
	36	883	198,4	90,0	4,82
1 1/2"	38	984	221,1	100,3	5,37
	40	1090	244,9	111,1	5,95
	42	1201	270,1	122,5	6,56
	44	1306	293,7	133,2	7,20
1 3/4"	45	1367	307,3	139,4	7,53
	46	1428	321,0	145,6	7,87
1 7/8"	48	1450	326,1	147,9	8,56
	50	1574	353,8	160,5	9,29
2"	51	1621	364,4	165,3	9,67

Características

- Construcción 6 x 19s (9/9/1) o 6 x 26ws (10/5+5/5/1), gran resistencia al roce, abrasión y al mismo tiempo flexibles y de uso muy versátil
- Alambres negros, según norma ISO 2232
- Torcido Regular o Lang

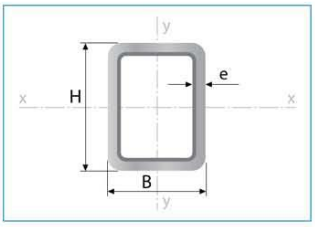
Equipos

6 x 19 Winche de Piques Verticales e Inclinados (Equipos minero), Cable de izaje (Funicular), Cable Tractor
Diám. mínimo de polea o tambor: 34 veces el diám. del cable

6 x 26 Uso general, montacargas (cable de izaje)
Diám. mínimo de polea o tambor: 30 veces el diám. del cable

Anexo 2: Tubería Rectangular – IPAC

Tubería Estructural **Rectangular**



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:
NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos, previa consulta

› Aplicaciones
- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.

Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas					
					Eje x-x			Eje y-y		
					Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm
20	30	1,50	1,35	1,06	1,59	1,06	1,08	0,84	0,84	0,79
		2,00	1,74	1,36	1,94	1,30	1,06	1,02	1,02	0,77
20	40	1,40	1,55	1,22	3,09	1,55	1,41	1,04	1,04	0,82
		1,50	1,65	1,30	3,27	1,63	1,41	1,10	1,10	0,82
		1,80	1,95	1,53	3,76	1,88	1,39	1,26	1,26	0,80
		2,00	2,14	1,68	4,06	2,03	1,38	1,35	1,35	0,79
25	50	1,40	1,97	1,55	6,28	2,51	1,79	2,13	1,71	1,04
		1,50	2,10	1,65	6,66	2,66	1,78	2,26	1,80	1,04
		1,80	2,49	1,95	7,72	3,09	1,76	2,60	2,08	1,02
		2,00	2,74	2,15	8,39	3,36	1,75	2,82	2,25	1,01
		2,50	3,34	2,62	9,90	3,96	1,72	3,29	2,64	0,99
		3,00	3,91	3,07	11,20	4,48	1,69	3,70	2,96	0,97
30	50	1,40	2,11	1,66	7,11	2,84	1,83	3,23	2,15	1,24
		1,50	2,25	1,77	7,54	3,02	1,83	3,42	2,28	1,23
		1,80	2,67	2,09	8,77	3,51	1,81	3,96	2,64	1,22
		2,00	2,94	2,31	9,54	3,82	1,80	4,30	2,87	1,21
		2,50	3,59	2,82	11,31	4,53	1,78	5,07	3,38	1,19
		3,00	4,21	3,30	12,86	5,15	1,75	5,73	3,82	1,17
40	60	1,40	2,67	2,10	13,54	4,51	2,25	7,27	3,63	1,65
		1,50	2,85	2,24	14,39	4,80	2,25	7,72	3,86	1,64
		1,80	3,39	2,66	16,85	5,62	2,23	9,01	4,51	1,63
		2,00	3,74	2,93	18,42	6,14	2,22	9,84	4,92	1,62
		2,50	4,59	3,60	22,09	7,36	2,19	11,75	5,88	1,60
		3,00	5,41	4,25	25,41	8,47	2,17	13,47	6,74	1,58
30	70	1,40	2,67	2,10	16,36	4,67	2,47	4,37	2,92	1,28
		1,50	2,85	2,24	17,38	4,97	2,47	4,64	3,09	1,28
		1,80	3,39	2,66	20,35	5,81	2,45	5,39	3,60	1,26
		2,00	3,74	2,93	22,23	6,35	2,44	5,87	3,91	1,25
		2,50	4,59	3,60	26,63	7,61	2,41	6,96	4,64	1,23
		3,00	5,41	4,25	30,61	8,74	2,38	7,93	5,29	1,21
40	80	1,50	3,45	2,71	28,99	7,25	2,90	9,94	4,97	1,70
		1,80	4,11	3,22	34,09	8,52	2,88	11,64	5,82	1,68
		2,00	4,54	3,56	37,36	9,34	2,87	12,73	6,36	1,67
		2,50	5,59	4,39	45,12	11,28	2,84	15,27	7,64	1,65
		3,00	6,61	5,19	52,28	13,07	2,81	17,59	8,79	1,63
		4,00	8,55	6,71	64,90	16,22	2,76	21,59	10,79	1,59
50	90	1,50	4,05	3,18	44,68	9,93	3,32	18,13	7,25	2,12
		1,80	4,83	3,79	52,70	11,71	3,30	21,32	8,53	2,10
		2,00	5,34	4,19	57,88	12,86	3,29	23,37	9,35	2,09
		2,50	6,59	5,17	70,28	15,62	3,27	28,25	11,30	2,07
		3,00	7,81	6,13	81,88	18,20	3,24	32,77	13,11	2,05
		4,00	10,15	7,97	102,81	22,85	3,18	40,81	16,32	2,01
50	100	1,50	4,35	3,42	57,77	11,55	3,64	19,89	7,96	2,14
		1,80	5,19	4,07	68,22	13,64	3,63	23,41	9,37	2,12
		2,00	5,74	4,50	74,99	15,00	3,62	25,68	10,27	2,12
		2,50	7,09	5,56	91,22	18,24	3,59	31,07	12,43	2,09
		3,00	8,41	6,60	106,49	21,30	3,56	36,09	14,44	2,07
		4,00	10,95	8,59	134,24	26,85	3,50	45,05	18,02	2,03
50	150	1,80	6,99	5,48	188,33	25,11	5,19	33,87	13,55	2,20
		2,00	7,74	6,07	207,54	27,67	5,18	37,21	14,88	2,19
		2,50	9,59	7,53	254,09	33,88	5,15	45,19	18,08	2,17
		3,00	11,41	8,96	298,58	39,81	5,12	52,68	21,07	2,15
		4,00	14,95	11,73	381,49	50,87	5,05	66,27	26,51	2,11
		5,00	18,36	14,41	456,54	60,87	4,99	78,12	31,25	2,06
60	120	1,80	6,27	4,92	119,80	19,97	4,37	41,25	13,75	2,57
		2,00	6,94	5,45	131,93	21,99	4,36	45,34	15,11	2,56
		2,50	8,59	6,74	161,25	26,87	4,33	55,17	18,39	2,53
		3,00	10,21	8,01	189,15	31,53	4,30	64,44	21,48	2,51
		4,00	13,35	10,48	240,84	40,14	4,25	81,35	27,12	2,47
		5,00	16,36	12,84	287,23	47,87	4,19	96,25	32,08	2,43
70	200	3,00	15,61	12,25	749,71	74,97	6,93	145,15	41,47	3,05
		4,00	20,55	16,13	969,28	96,93	6,87	185,62	53,03	3,01
		5,00	25,36	19,90	1.174,26	117,43	6,81	222,47	63,56	2,96
		6,00	30,03	23,58	1.365,00	136,50	6,74	255,91	73,12	2,92
75	125	1,80	6,99	5,48	152,92	24,47	4,68	70,06	18,68	3,17
		2,00	7,74	6,07	168,56	26,97	4,67	77,15	20,57	3,16
		2,50	9,59	7,53	206,53	33,04	4,64	94,26	25,14	3,14
		3,00	11,41	8,96	242,88	38,86	4,61	110,55	29,48	3,11
		4,00	14,95	11,73	310,87	49,74	4,56	140,75	37,53	3,07
		5,00	18,36	14,41	372,77	59,64	4,51	167,93	44,78	3,02
75	175	3,00	14,41	11,31	556,71	63,62	6,22	149,46	39,86	3,22
		4,00	18,95	14,87	718,30	82,09	6,16	191,22	50,99	3,18
		5,00	23,36	18,33	868,40	99,25	6,10	229,29	61,14	3,13
		6,00	27,63	21,69	1.007,36	115,13	6,04	263,88	70,37	3,09
100	150	3,00	14,41	11,31	460,67	61,42	5,65	247,67	49,53	4,15
		4,00	18,95	14,87	594,71	79,29	5,60	318,67	63,73	4,10
		5,00	23,36	18,33	719,46	95,93	5,55	384,27	76,85	4,06
		6,00	27,63	21,69	835,21	111,36	5,50	444,72	88,94	4,01
100	200	3,00	17,41	13,67	924,37	92,44	7,29	318,26	63,65	4,28
		4,00	22,95	18,01	1.199,81	119,98	7,23	410,88	82,18	4,23
		5,00	28,36	22,26	1.459,51	145,95	7,17	497,19	99,44	4,19
		6,00	33,63	26,40	1.703,83	170,38	7,12	577,44	115,49	4,14

Anexo 3: Ficha técnica motorreductor de tornillo sinfín

0,18kW

Motorreductores de sinfín
UNIVERSAL con engranaje cilíndrico
4 polos, 60Hz

P_1 [kW]	n_2 [min⁻¹]	M_2 [Nm]	f_B	i_{ges}	i_{sch}	i_{vor}	F_R [N]	F_{RF} [N]	Modelo	Módulos del motorreductor				
												IEC 63 B14 C90	Motor 63L/4	alternativa Motor con freno 63L/4 BRE5
									62 - 67 + 70	62 - 67	70	73	74	74
0,18									**SK 1SI 40/H10 – IEC63 - 63L/4**	**Números de pedido de los módulos**				
	33	43	1,5	50	5	10	3200	1810		60491050	60494000	60495010	31510020	31510044
	22	60	1,2	75	7,5	10	3200	1780		60491080	"	"	"	"
	16	76	0,9	100	10	10	3200	1740		60491100	"	"	"	"
	11	100	0,8	150	15	10	3200	1660		60491150	"	"	"	"
									SK 1SI 50/H10 – IEC63 - 63L/4	**Números de pedido de los módulos**				
	33	43	2,4	50	5	10	4800	3730		60591050	60494000	60495010	31510020	31510044
	22	61	2,1	75	7,5	10	4800	3720		60591080	"	"	"	"
	16	78	1,6	100	10	10	4800	3710		60591100	"	"	"	"
	13	94	1,3	125	12,5	10	4800	3690		60591130	"	"	"	"
	11	103	1,4	150	15	10	4800	3680		60591150	"	"	"	"
	8,2	129	1,0	200	20	10	4800	3640		60591200	"	"	"	"
	6,5	150	0,8	250	25	10	4800	3610		60591250	"	"	"	"
	5,4	152	1,0	300	30	10	4800	3600		60591300	"	"	"	"
									SK 1SI 63/H10 – IEC63 - 63L/4	**Números de pedido de los módulos**				
	16	79	2,4	100	10	10	6300	3430		60691100	60494000	60495010	31510020	31510044
	13	96	2,2	125	12,5	10	6300	3410		60691130	"	"	"	"
	11	106	2,4	150	15	10	6300	3400		60691150	"	"	"	"
	8,2	131	1,8	200	20	10	6300	3370		60691200	"	"	"	"
	6,5	153	1,4	250	25	10	6300	3330		60691250	"	"	"	"
	5,4	158	1,6	300	30	10	6300	3320		60691300	"	"	"	"
	4,1	190	1,3	400	40	10	6300	3250		60691400	"	"	"	"
	3.3	211	1.1	500	50	10	6300	3200		60691500	"	"	"	"

Anexo 4: Proforma de andamio colgante de desplazamiento únicamente vertical.

GLOBAL MANAGEMENT ENTERPRISE S.A.S

Calle 95 No. 71-11 TO 2 AP 1002 Bogotá, Colombia Tel: +571-8013217 Cel: +57-3208302417
info@globalmanagemententerprise.com

PROFORMA INVOICE

TO: DAVID BAUTISTA
BAÑOS CUENCA ECUADOR
Date: 2019-07-24

ADD: AV RICARDO DURAN
Invoice No: GMEE24072017-2
Teléfono: 593998166899

SHIPPING FROM: TIANJIN, CHINA

Parte No.	DESCRIPCION UNA PLATAFORMA	Cant.	Valor Unitario.	Valor Total.
01	CABLE DE SUSPENSION 100 M 8.3 mm	4	USD$ 175	USD$ 700
02	DISPOSITIVO ANTICAIDAS	2	USD$ 250	USD$ 500
03	APAREJO ELEVADOR DE TRACION	2	USD$ 1.000	USD$ 2.000
04	PLATAFORMA ACERO DE 6 M (3+2+1)	1	USD$ 1.500	USD$ 1.500
05	C/R CAJA DE CONTROL ELECTRICA	1	USD$ 600	USD$ 600
06	CABLE ELECTRICO 100 M	1	USD$ 500	USD$ 500
07	ANCLAJES	2	USD$ 500	USD$ 1.000
08	CONTRAPESOS CUBRIMIENTO DE ACERO.	32	USD$ 31.25	USD$ 1.000
			SUB TOTAL	USD$ 7.800
	FLETE CIF		FLETE	USD$ 3.000
			TOTAL	USD$ 10.800

TOTAL SAY UNITED STATES DOLLARS TEN THOUSAND EIGHT HUNDRED ONLY.
FORMA DE PAGO: 50% POR ADELANTADO Y 50% AL MOMENTO DE ENVIAR EL BILL OF LANDING. TIEMPO DE ENTREGA EN PUERTO ECUATORIANO 45-60 DIAS HABILES APROXIMADAMENTE. NEGOCIACION INCOTERM CIF GUAYQUIL ECUADOR.

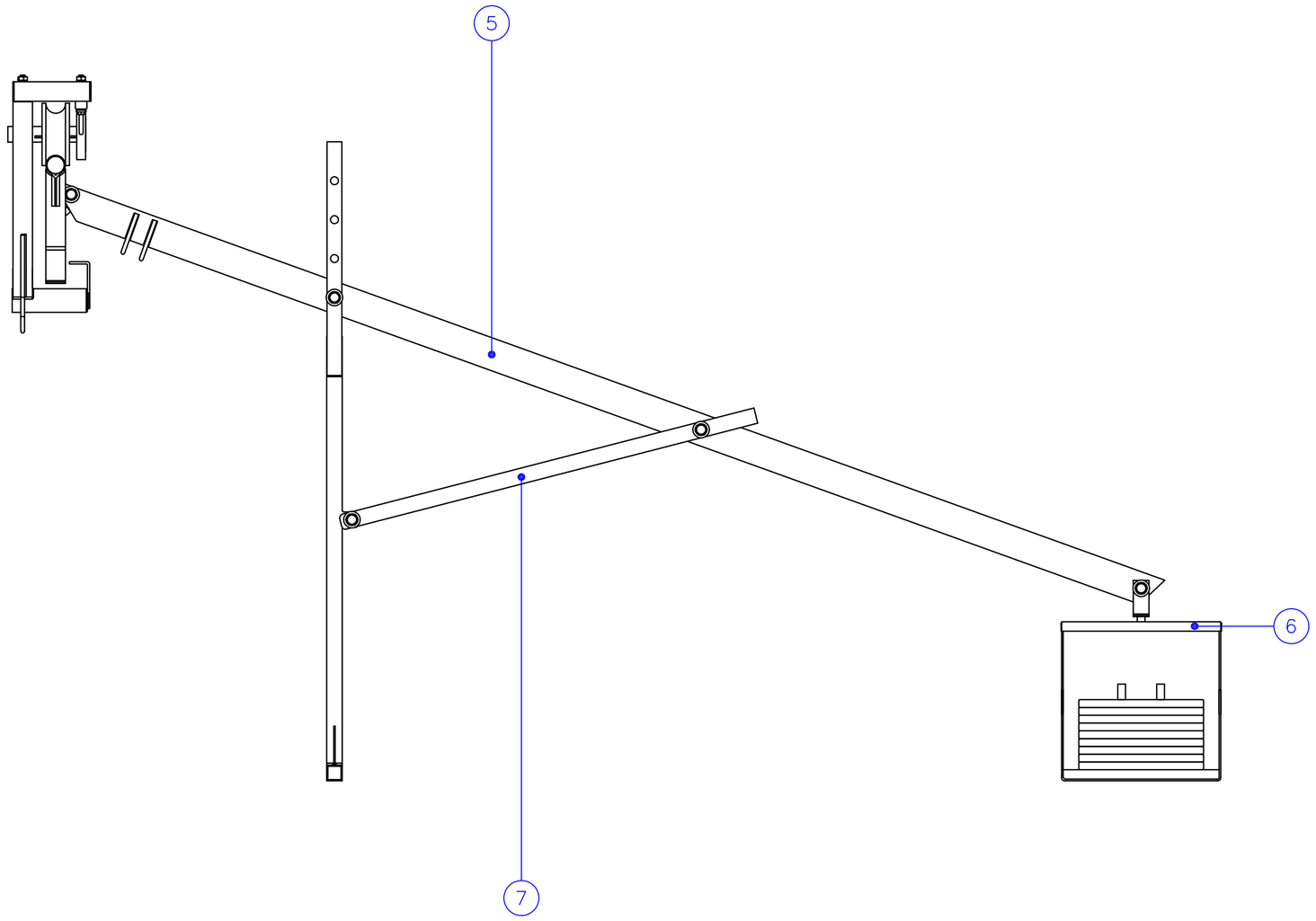
INSTRUCCIONES PARA EL ENVIO DE TRANSFERENCIAS EN DOLARES DESDE EL EXTERIOR HACIA COLOMBIA. Se debe mencionar:
BANCO CORRESPONSAL: CITIBANK NY USA SWIFT CITIUS 33 ABA 021000089
• NUMERO CUENTA DEL BANCO DE BOGOTA CON CITIBANK: 10922754
• DIRECCION SWIFT BANCO DE BOGOTA: BBOGCOBB CHIPS 001959
• ENUNCIAR EL NUMERO DE CUENTA DEL BENEFICIARIO CON EL BANCO DE BOGOTA NUMERO DE CUENTA: 009376021 CUENTA DE AHORROS GLOBAL MANAGEMENT ENTERPRISE S.A.S.
• NOMBRE COMPLETO DEL BENEFICIARIO: GLOBAL MANAGEMENT ENTERPRISE S.A.S.

VENDEDOR SELLO

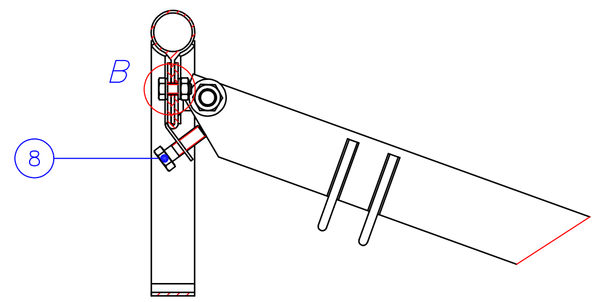
COMPRADOR

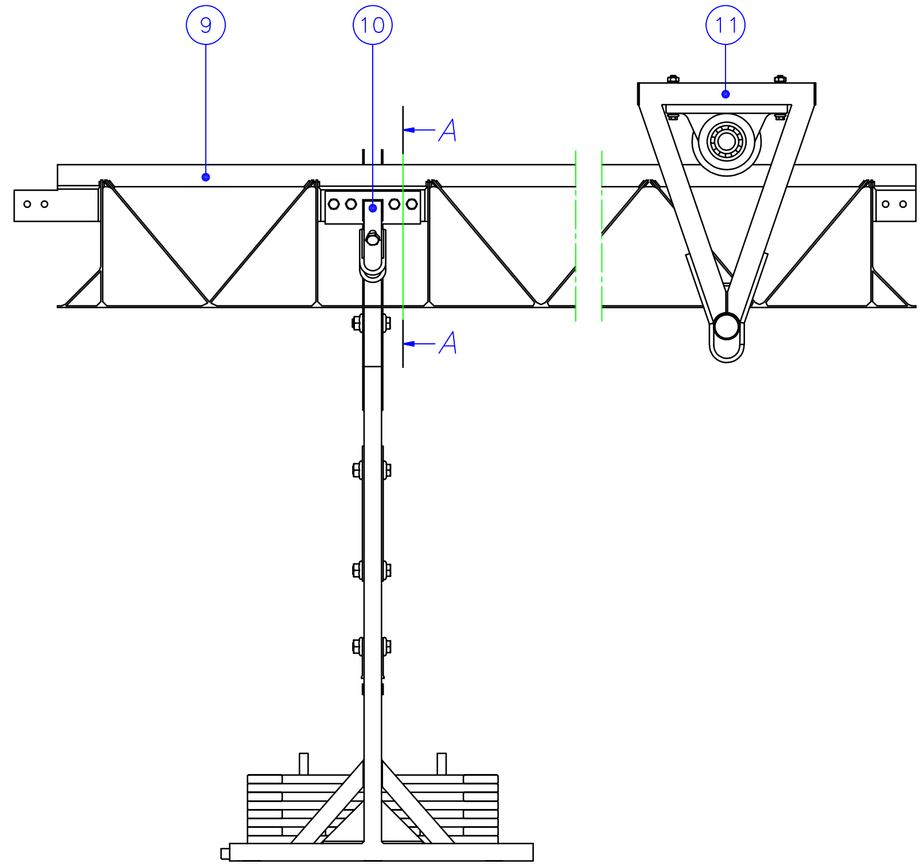
Anexo 5: Planos y particulares

- Lamina 1: Vista en conjunto del sistema de andamio colgante.
- Lamina 2: Apoyo principal o tirante
- Lamina 3: Pescante
- Lamina 4: Contrapeso
- Lamina 5: Riel de desplazamiento y celosías que lo componen

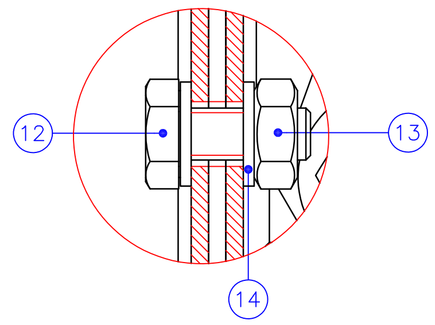


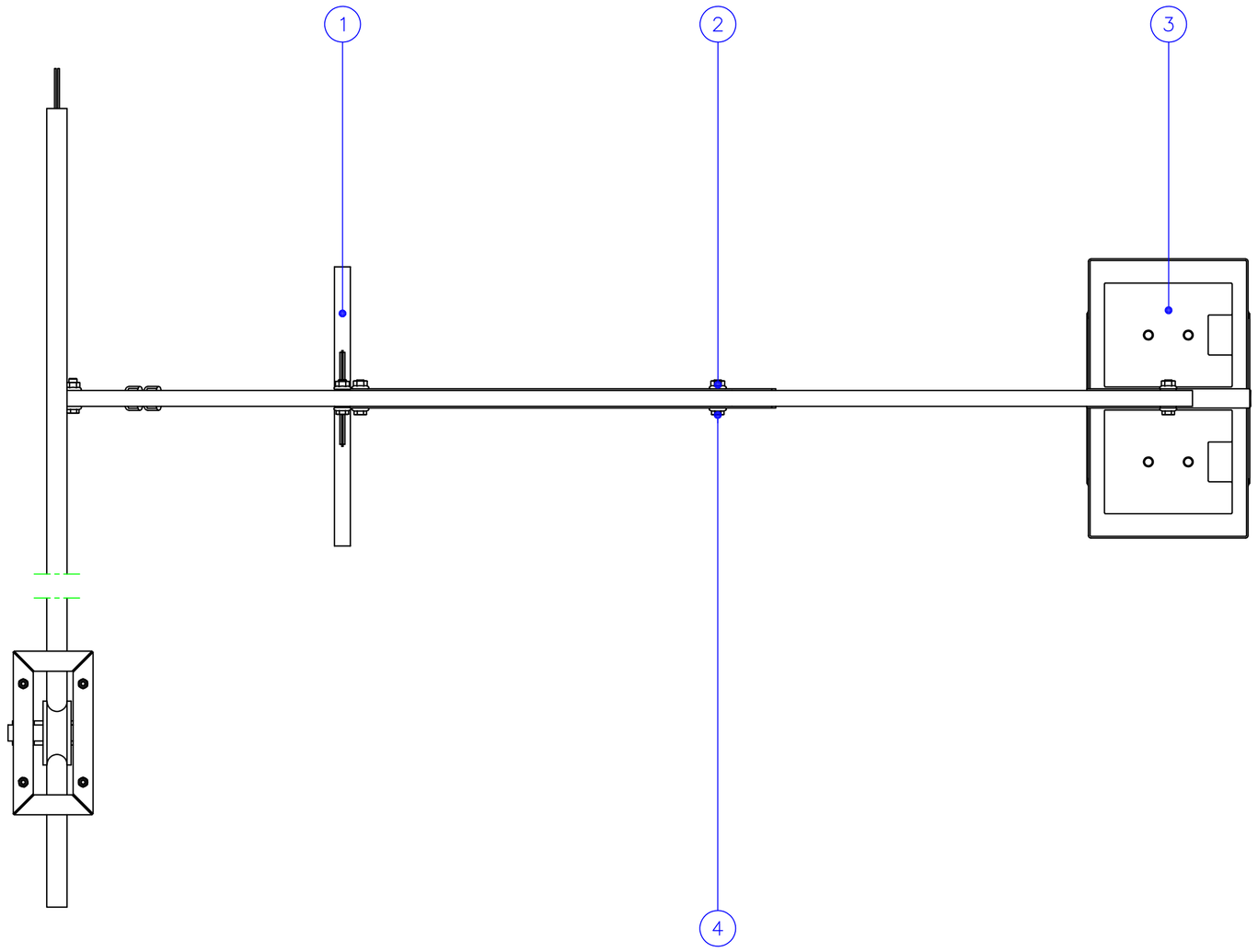
A–A (1:5)

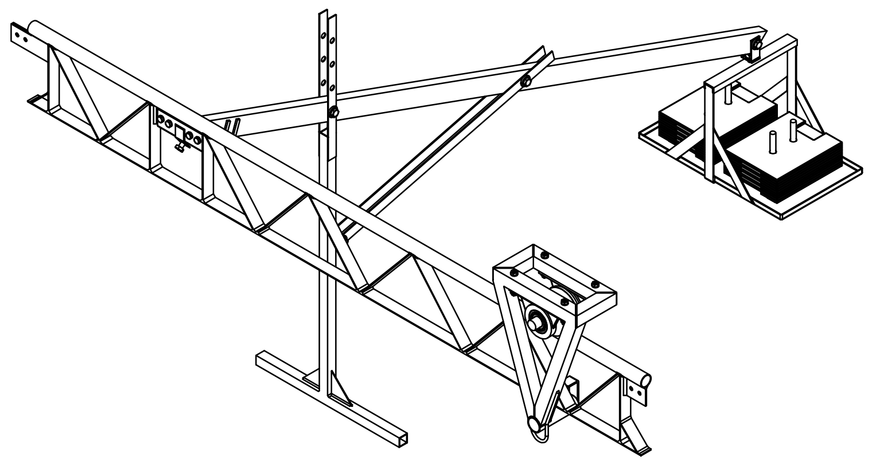




B (1:1)







Pos	Can	Designacion	Norma	Material
14	8	Arandela M12	DIN 9021	Acero
13	4	Tuerca M12	ANSI B 18.2.2	ASTM A–194
12	4	Perno M12x30	DIN 931/933	Acero
11	1	Sistema deslizante		ASTM A–36
10	1	Soporte de riel	NTP 976–977	ASTM A–36
9	1	Riel	NTP 976–977	ASTM A–36
8	1	Perno M16x50	DIN 931/933	Acero
7	1	Tirante pescador	NTP 976–977	ASTM A–500 GrB
6	1	Base contrapeso		ASTM A–36
5	1	Pescante	NTP 976–977	ASTM A–36
4	5	Perno M20x70	DIN 931/933	Acero
3	20	Contrapeso	NTP 976–977	ASTM A–36
2	5	Tuerca M20	ANSI B 18.2.2	ASTM A–194
1	1	Soporte principal	NTP 976–977	ASTM A–500 GrB

	Fecha	Nombre
Dibujado	17/05/18	Barros – Bautista
Comprobado	17/05/18	Ing Nelson Jara

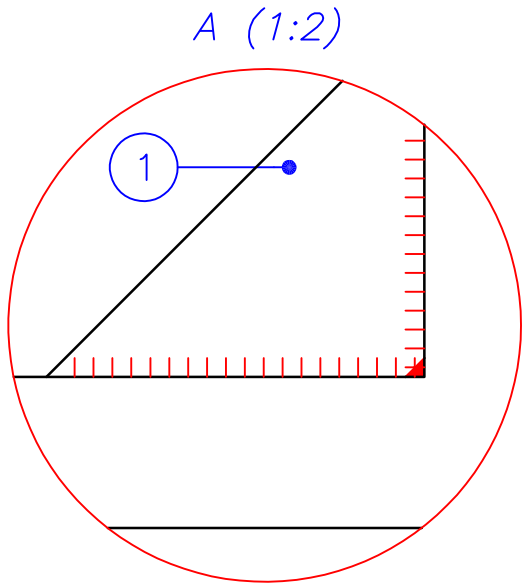
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

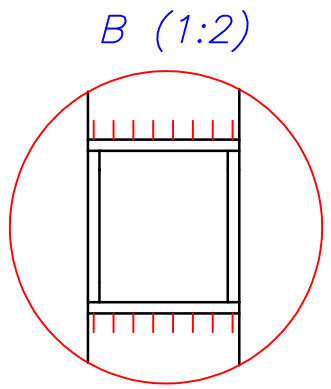
ESCALA: 1:10

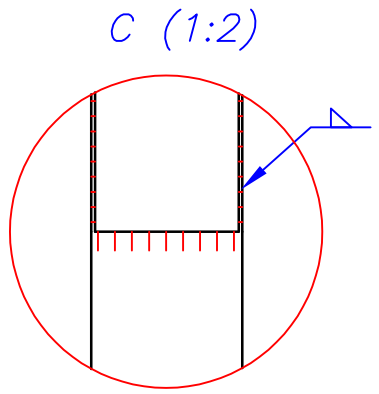
ANDAMIO COLGANTE DESLIZANTE

Ingeniería Mecánica

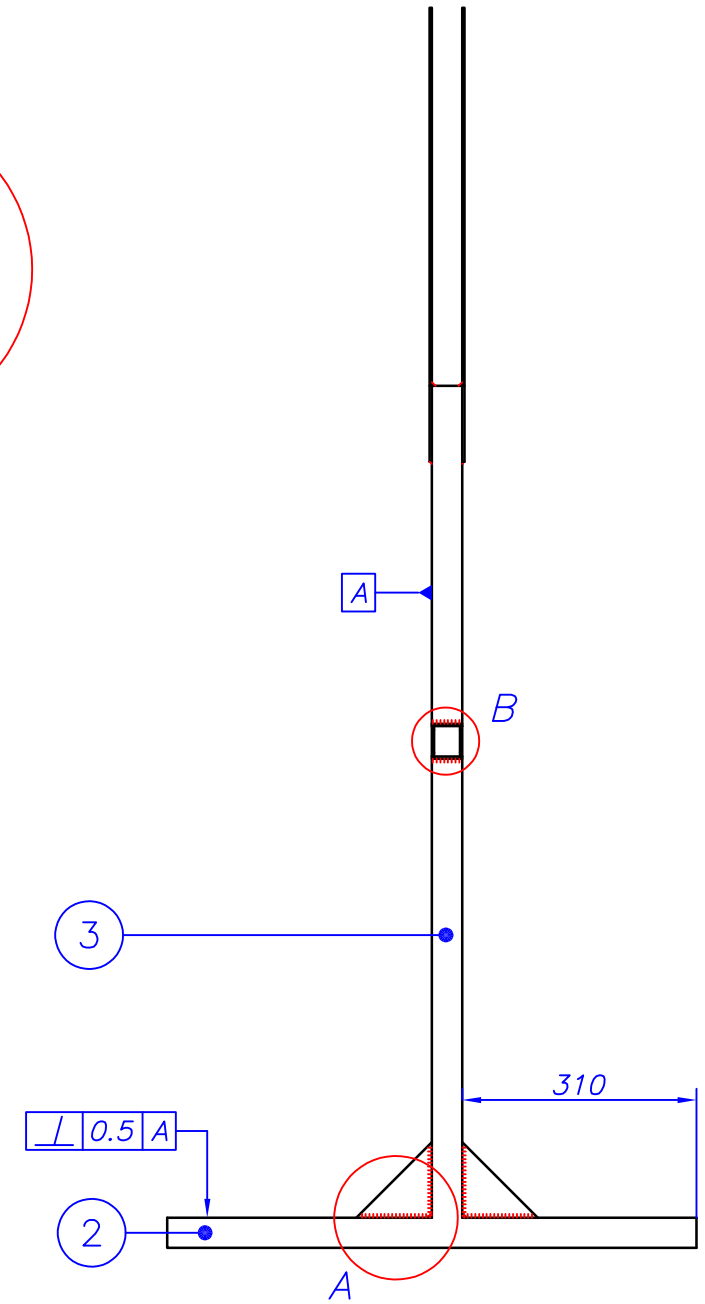
Lámina Nº 01

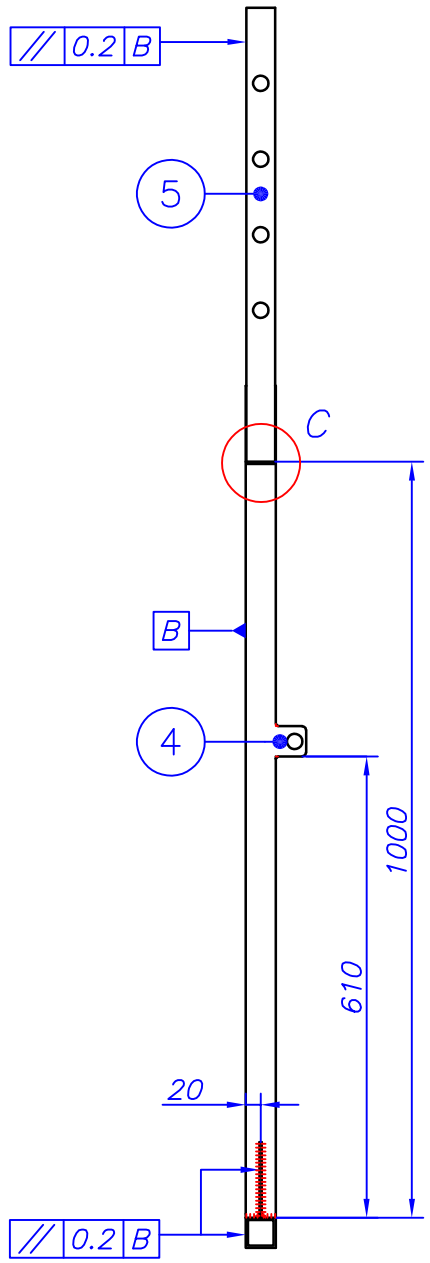


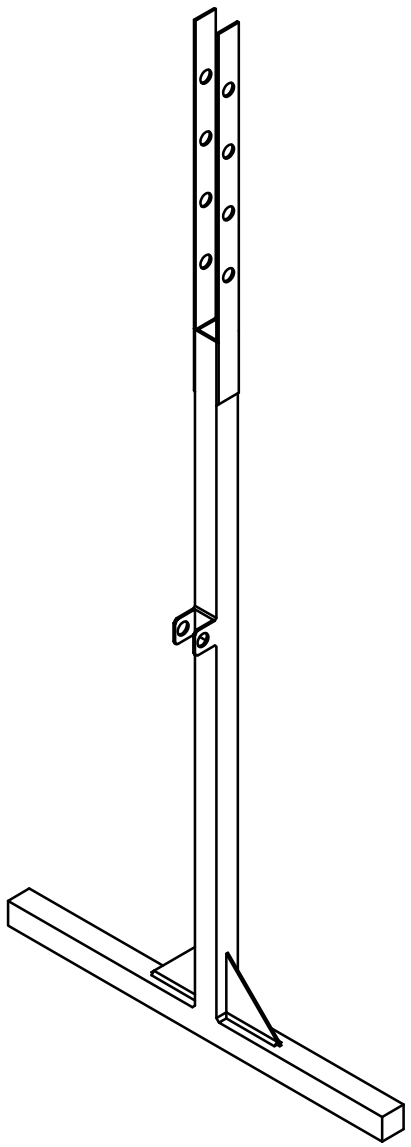




Todos los cordones angulares sin especificar a 4◺







Medida en mm

Pos	Can	Designacion	Norma	Material	
5	2	Platina lateral			
4	1	Soporte			
3	1	Tubo cuadrado soporte			
2	1	Tubo cuadrado base			
1	2	Angulo			

	Fecha	Nombre
Dibujado	17/05/18	Barros – Bautista
Comprobado	17/05/18	Ing Nelson Jara

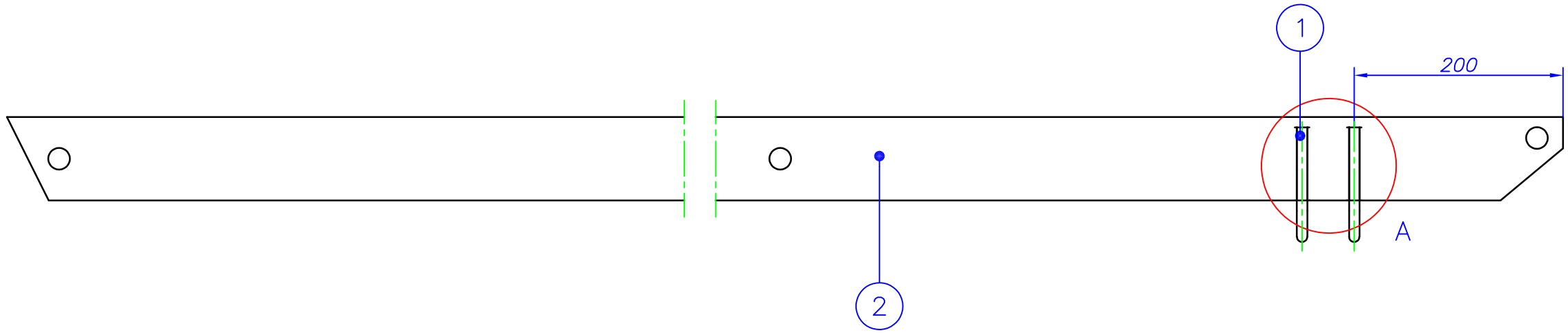
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

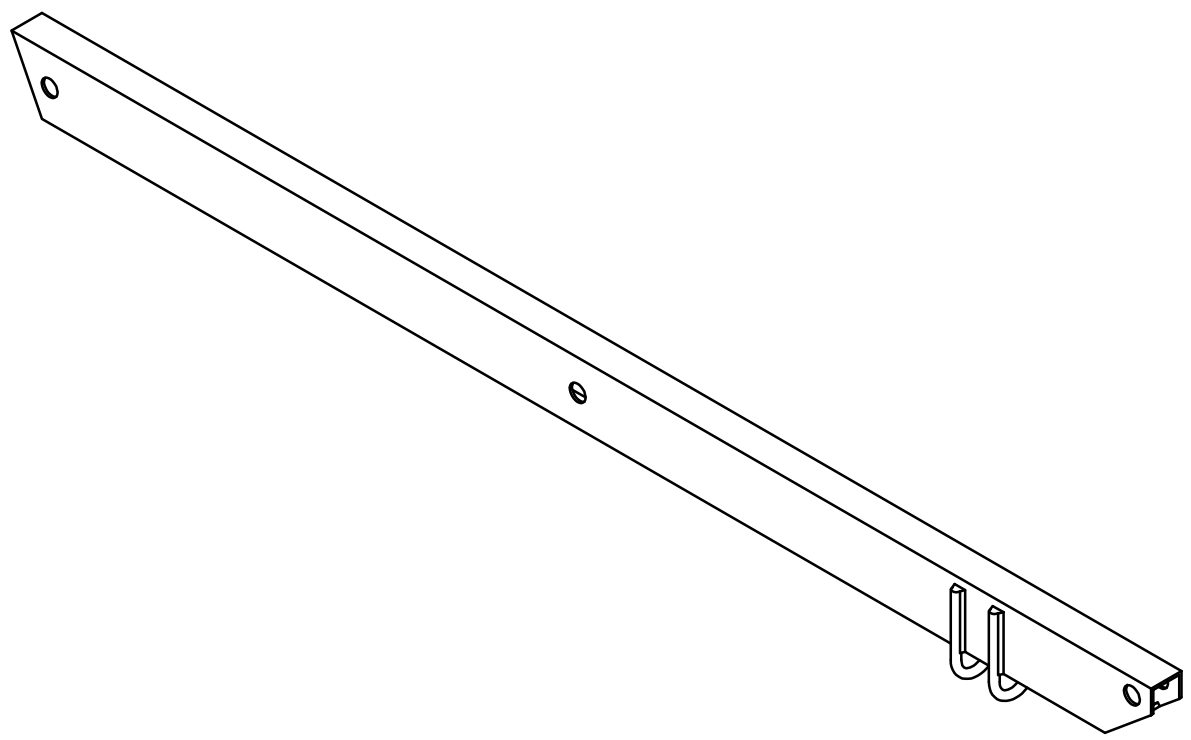
ESCALA: 1:10

SOPORTE PRINCIPAL

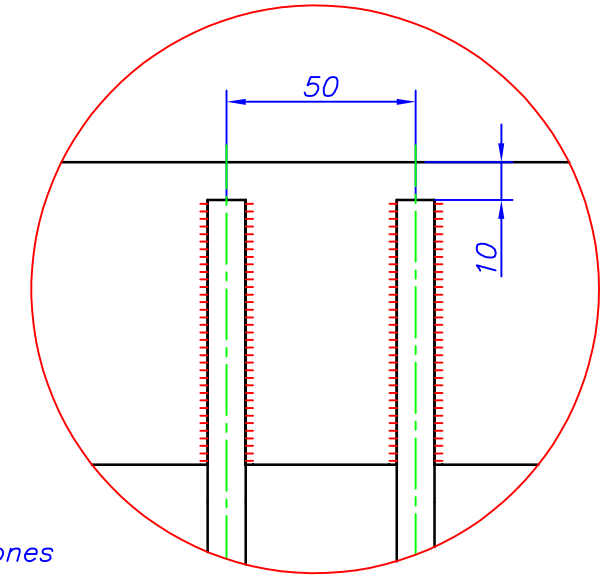
Ingeniería Mecánica

Lámina Nº 02





A (1:2)



Todos los cordones angulares a 4◺

Medida en mm

Pos	Can	Designacion	Norma	Material
2	2	Colgante		
1	1	Tirante		

	Fecha	Nombre
Dibujado	17/05/18	Barros – Bautista
Comprobado	17/05/18	Ing Nelson Jara

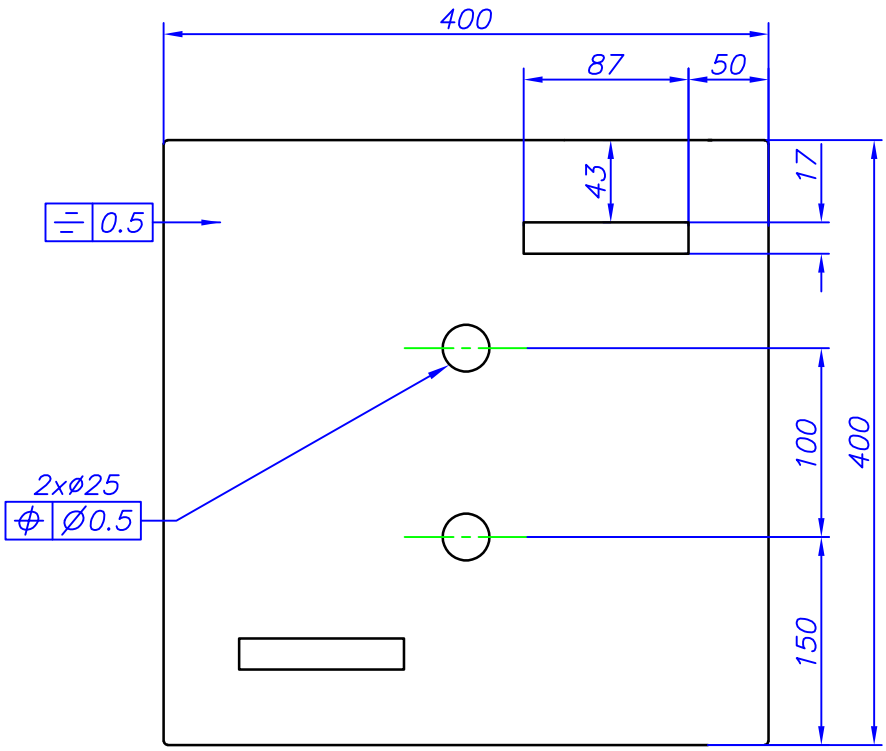
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

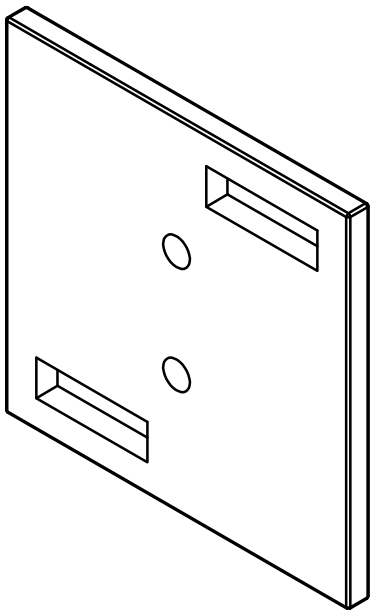
ESCALA: 1:5

PESCANTE

Ingeniería Mecánica

Lámina Nº 03





Todas las aristas terminadas en chaflanes de 2.5 mm

.

Medida en mm e=20 mm N7

Pos	Can	Designacion	Norma	Material

	Fecha	Nombre
Dibujado	17/05/18	Barros – Bautista
Comprobado	17/05/18	Ing Nelson Jara

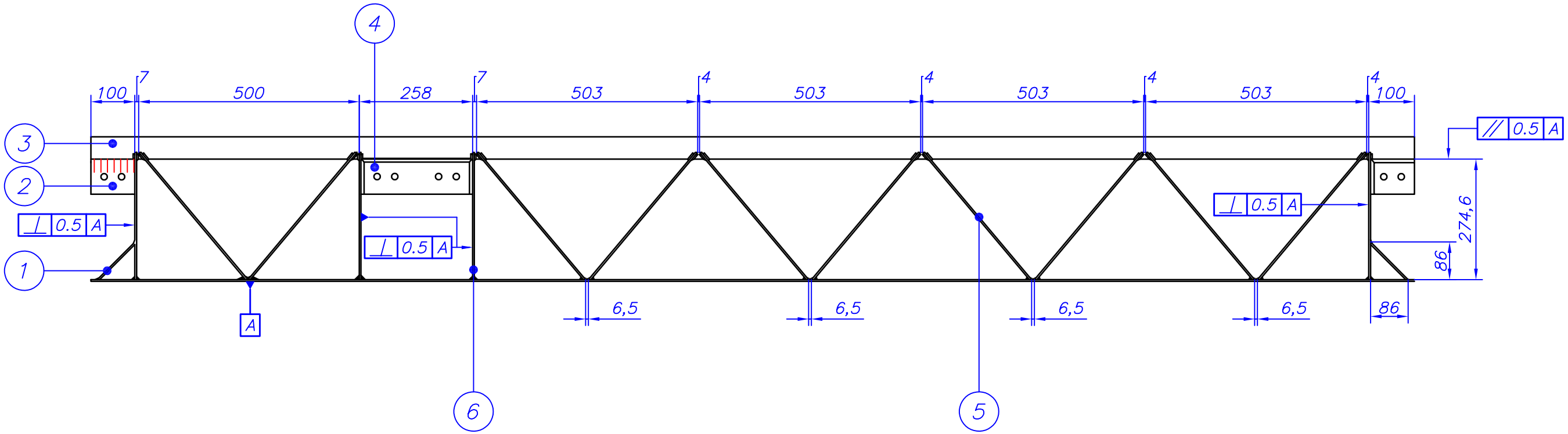
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

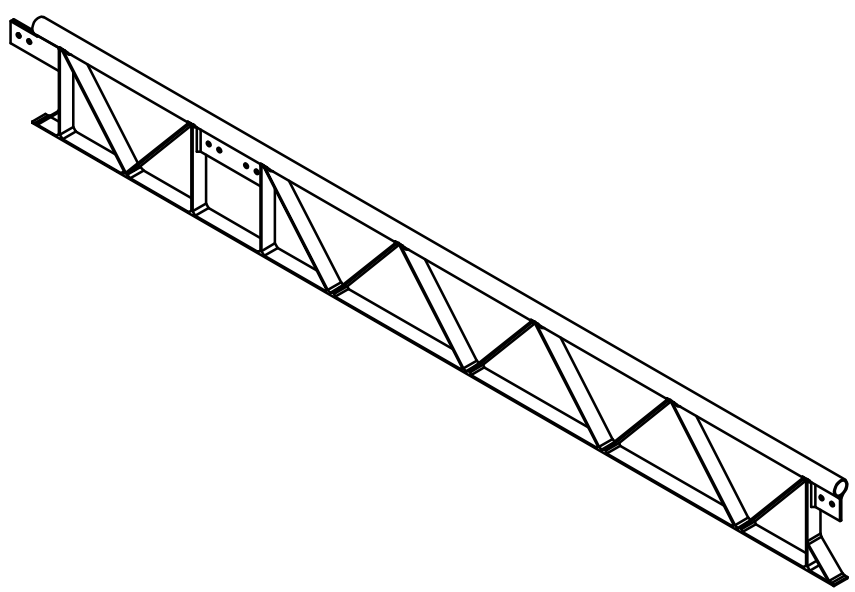
ESCALA: 1:2

CONTRAPESO

Ingeniería Mecánica

Lámina Nº 04





Pos	Can	Designacion		Norma	Material
		Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA	
Dibujado		17/05/18	Barros – Bautista		
Comprobado		17/05/18	Ing Nelson Jara	SEDE MATRIZ CUENCA	
ESCALA: 1:2		CONTRAPESO		Ingeniería Mecánica	
				Lámina Nº 05	