

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA DE CUBIERTA, DE CINCO METROS DE VOLADIZO CON UNA MODULACIÓN DE SEIS METROS.**

**COMPONENTE B: SIMULACIÓN Y MODELADO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA DE CUBIERTA, DE CINCO METROS DE VOLADIZO CON UNA MODULACIÓN DE SEIS METROS.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**JONATHAN STEVE ARO TROYA**

**jonathan.aro@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA**

**mario.cesen@pen.edu.ec**

**DMQ, 24 de febrero de 2023**

## CERTIFICACIONES

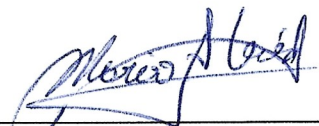
Yo, JONATHAN STEVE ARO TROYA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**JONATHAN STEVE ARO TROYA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JONATHAN STEVE ARO TROYA, bajo mi supervisión.



---

**MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JONATHAN STEVE ARO TROYA

MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico especialmente a mi madre Ritha Troya y a mi hermana Katherine Aro las cuales siempre estuvieron ahí para apoyarme y enseñándome que con el trabajo duro y esfuerzo necesario se van a conseguir las metas que uno se propone.

A mi padre que me supo apoyar a pesar de la distancia que nos separa.

A mis abuelitos y familiares que siempre me dieron ánimos y palabras de aliento.

Steve Aro Troya

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial mi madre Ritha Troya y a mi hermana Katherine Aro, las dos personas más importantes de mi vida, de cuales he aprendido muchas cosas y sigo aprendiendo, de las cuales sólo siento admiración y no hay palabras que puedan expresar cuanto agradecido estoy.

A mis abuelitos, que siempre me tienen presente y se preocupan por mí.

A mi padre que siempre creyó en mí.

A todas las personas que me dieron palabras de aliento, me ayudaron a llegar a donde estoy y se preocupan por mí.

Steve Aro Troya

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	2
1.4.1 Estructuras Metálicas .....	2
1.4.2 Ventajas de las estructuras metálicas .....	3
1.4.3 Desventajas de las estructuras metálicas.....	4
1.4.4 Armaduras planas.....	4
1.4.5 Estructuras en voladizo .....	5
1.4.6 Estructura isostática .....	7
1.4.7 Materiales empleados para las estructuras metálicas .....	7
1.4.8 Secciones comunes de perfiles para estructuras metálicas .....	7
1.4.9 Perfiles más utilizados en estructuras: .....	8
1.4.10 Propiedades geométricas de las secciones .....	10
1.4.11 Códigos y normas para estructuras metálicas.....	11
1.4.12 Diseño de elementos.....	13
1.4.13 Soldadura .....	16
1.4.14 Cargas para armaduras planas .....	17
1.4.15 Software para simulación .....	18
2 METODOLOGÍA.....	21
2.1 Análisis de alternativas.....	21
2.1.1 Alternativa 1:.....	22
2.1.2 Alternativa 2:.....	23
2.1.3 Alternativa 3:.....	23
2.1.4 Método de evaluación de soluciones.....	24

2.2	Cálculo de cargas .....	26
2.2.1	Carga viva (L) .....	28
2.2.2	Carga muerta (D).....	30
2.2.3	Carga de viento (W).....	32
2.2.4	Carga sísmica (E) .....	37
2.2.5	Carga de granizo (S), Carga de lluvia (R).....	43
2.3	Combinación de cargas.....	44
2.4	Modelado y simulación de cada elemento .....	45
2.4.1	Autodesk Inventor.....	45
2.4.2	Modelado y simulación de correas .....	52
2.4.3	Modelado y simulación de viga-columna .....	58
2.4.4	Modelado y simulación de placa base .....	66
2.4.5	Modelamiento del separador de correas y separador de columnas .	70
2.5	Consideraciones de soldadura.....	71
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
3.1	Resultados .....	73
3.2	Conclusiones.....	77
3.3	Recomendaciones.....	78
4	ANEXOS.....	81
	ANEXO I. Consideraciones de soldadura. ....	82
	ANEXO II. Catálogos de los diferentes perfiles utilizados para el diseño del presente proyecto.....	85
	ANEXO III. Plano de conjunto y planos de taller de la estructura metálica de cubierta en voladizo. ....	89

## RESUMEN

En el presente Trabajo de Integración Curricular (TIC) se detalla el procedimiento para la simulación y modelación de una estructura metálica de cubierta en voladizo con elementos conformados en frío, partiendo de la investigación bibliográfica de estructuras existentes en la actualidad, a continuación, se procede a plantear varias alternativas que cumplan lo requerido y utilizando el método de evaluación conocido como método ordinal corregido de criterios ponderados, donde se evalúa los criterios con valores de 1, 0.5 y 0 dando como resultado la alternativa que presenta mayor prioridad de diseño.

En el cálculo de las cargas que actúan sobre la estructura se tomó en consideración lo que detalla la norma ecuatoriana de la construcción, además de considerar que las cargas de lluvia y granizo no actuaran sobre la estructura debido que por su forma no hay manera que exista estancamiento de agua en ella, y solo se considera las cargas vivas, muertas, de viento y sísmica para su posterior análisis estructural.

En la modelación de cada elemento que conforma la estructura de cubierta en voladizo se utilizó el software Autodesk Inventor, que facilita en gran medida la elaboración de las piezas en 3D, y posteriormente se realizó el ensamblaje de las mismas dando como resultado el montaje de la estructura, también se lo utilizó para realizar análisis estructurales y de esfuerzos dando como resultado valores menores a lo que el material puede soportar y coeficientes de seguridad mayores a 1, estableciendo que el diseño de cada elemento es óptimo.

**PALABRAS CLAVE:** Estructura metálica, cubierta, voladizo, Conformado en frío, perfil G, simulación.



## **ABSTRACT**

In the present Curricular Integration Work (TIC) the procedure for the simulation and modeling of a cantilevered metal roof structure with cold-formed elements is detailed, based on the bibliographical investigation of currently existing structures, then proceed to propose several alternatives that meet the requirements and using the evaluation method known as the corrected ordinal method of weighted criteria, where the criteria are evaluated with values of 1, 0.5 and 0, resulting in the alternative that presents the highest design priority.

In the calculation of the loads that act on the structure, what is detailed in the Ecuadorian construction standard was taken into consideration, in addition to considering that the loads of rain and hail did not act on the structure since due to its shape there is no way that it exists. stagnation of water in it, and only live, dead, wind and seismic loads are considered for subsequent structural analysis.

In the modeling of each element that makes up the cantilever roof structure, the Autodesk Inventor software was used, which greatly facilitates the preparation of the pieces in 3D, and later the assembly of the same was carried out, resulting in the assembly of the structure, it was also used to carry out structural and stress analysis, resulting in values less than what the material can support and safety coefficients greater than 1, establishing that the design of each element is optimal.

**KEYWORDS:** Steel structure, roof, cantilever, cold forming, G profile, simulation.

# **1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

Simular y modelar una estructura metálica de cubierta en voladizo con elementos conformados en frío, efectuando un estudio del estado del arte para identificar diferentes tipos de estructuras en voladizo y seleccionando al menos tres alternativas que cumplan con las necesidades requeridas, además se analiza los diferentes conceptos para el diseño estructural, como la explicación de que es una estructura metálica, los diferentes perfiles que se utilizan para la fabricación, las normas y códigos de diseño que están presentes para el diseño de estructuras metálicas en el país y las cargas que actúan sobre la misma.

Con las alternativas definidas se utilizó métodos de evaluación de soluciones, donde se busca identificar la mejor alternativa entre varias opciones desarrollando una evaluación de criterios generales, entre estos se considera la eficacia e importancia, así como otros aspectos importantes.

Posterior a la selección de la mejor alternativa se procede a determinar el tipo de perfil estandarizado para su diseño junto con el tipo de material que se puede encontrar en el mercado, se calcula las diferentes cargas (viva, muerta, granizo, lluvia, nieve, sismo) que están presentes sobre la estructura, y se analiza las varias combinaciones de estas ya sea con el diseño en base a factores de carga y resistencia (LRFD) o con el diseño en base a resistencia admisible (ASD).

Posteriormente se desarrolla el modelado de cada parte de la estructura metálica en un software CAD el cual nos permite efectuar bosquejos o dibujos en 2D, modelados 3D y elaboración de planos, tanto de conjunto como planos de despiece, de tal manera que ayuda a tener una mejor visualización de la forma que tomara la estructura en voladizo además de proporcionar una manera rápida la creación de prototipos, de la misma manera se puede realizar el ensamblaje de partes o elementos donde se analiza si existe la interferencia entre elementos o componentes, junto con una simulación y análisis estructural que se puede realizar con las herramientas que presenta el software, además de poder validar el diseño teórico de cada elemento con un análisis de elementos finitos y realizar una posterior comparación de resultados.

## **1.1 Objetivo general**

Simulación y modelado de una estructura metálica de cubierta, de cinco metros de voladizo con una modulación de seis metros.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Recopilar información bibliográfica.
2. Analizar alternativas de estructuras y seleccionar la más adecuada.
3. Determinar las cargas de diseño.
4. Elaborar modelos 3D, ensamblajes, planos de conjuntos y despiece.
5. Validar el diseño por medio de software de simulación.

## **1.3 Alcance**

En el presente proyecto de integración curricular se pretende simular y modelar una estructura metálica de cubierta en voladizo, partiendo de una recopilación de información bibliográfica para poder obtener una información amplia y detallada de los diferentes modelos ya existentes actualmente y las normas que se emplearan en el diseño de la misma.

A continuación, se procede determinar y evaluar las alternativas que se pudieron establecer con la investigación bibliográfica con el fin de seleccionar la alternativa que se adecúa a los requerimientos planteados, posteriormente se define las cargas de diseño que se aplican en una estructura basándose en especificaciones y normas establecidas, a continuación se elaborará modelos 3D, ensamblajes, planos de conjunto y despiece que conforman la estructura para después continuar con la validación del diseño por medio de un software de simulación de tal manera que se cumpla así lo especificado en el trabajo de integración curricular.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Estructuras Metálicas**

Las estructuras metálicas son un conjunto de elementos, unidos entre ellos con el objetivo de formar un cuerpo que soporte diferentes cargas que actuaran sobre ella.

Este tipo de estructuras son principalmente utilizadas en el sector industrial; un claro ejemplo de su aplicación es en la construcción de puentes, edificios, torres, naves industriales, etc.

Los tipos estructuras metálicas son:

1. Estructuras Abovedadas: en este tipo de estructuras se utilizan arcos, cúpulas y bóvedas, además se caracterizan por cubrir amplios espacios, presentar vacíos en su estructura, equilibrar y resistir las fuerzas que actúan sobre la misma.
2. Estructuras entramadas: son estructuras empleadas principalmente en la construcción de edificios y están conformadas por vigas, cimientos, columnas y pilares; su principal característica es ser una estructura con uniones rígidas y en forma de emparrillado.
3. Estructuras triangulares: son estructuras que se caracterizan debido a la posición de sus elementos lineales que se asemejan a formas triangulares, planas o tridimensionales, se las utilizan mayormente en la construcción de puentes, grúas, torres, etc.
4. Estructuras colgantes: este tipo de estructura está formada por cables o tirantes los cuales se encargan de resistir el peso de otros elementos y además de proporcionar estabilidad, comúnmente utilizados en los puentes colgantes.
5. Estructuras laminares: son aquellas estructuras constituidas por superficies delgadas, curvas y de bajo espesor, se emplean para la fabricación de automóviles y aviones. [1]

#### **1.4.2 Ventajas de las estructuras metálicas**

Presenta una alta resistencia por unidad de peso, esta propiedad permite que la estructura sea relativamente liviana, lo cual es de gran importancia en la construcción de puentes, edificios de gran altura, etc.

Su uniformidad no se afecta con el pasar del tiempo en comparación con otro tipo de estructuras.

Los perfiles utilizados en las estructuras metálicas son fabricados bajo normas estandarizadas que nos garantizan que sus propiedades geométricas serán precisas.

Tienen una ductilidad elevada permitiendo que la estructura soporte grandes deformaciones antes de que se produzca el fallo y tolera elevados esfuerzos de tensión.

Realizando un mantenimiento constante en la estructura se puede garantizar una durabilidad indefinida. Las estructuras metálicas poseen una tenacidad alta debido que absorben grandes cantidades de energía de deformación.

La unión de sus perfiles o elementos resulta fácil debido a que se pueden conectar por medio de remaches, pernos y soldadura.

El montaje de las estructuras resulta rápido debido que se usan elementos prefabricados.

El acero utilizado en la estructura metálica son 100% reciclables.

Este tipo de estructuras permiten modificaciones o ampliaciones de manera sencilla.

### 1.4.3 Desventajas de las estructuras metálicas

Este tipo de estructuras son susceptibles a sufrir de corrosión debido a que se encuentran expuestas al aire libre o a un ambiente húmedo, para contrarrestar de alguna manera esta desventaja se puede optar por la utilización de recubrimientos anticorrosivos como esmaltes.

La resistencia de la estructura se puede reducir considerablemente debido a altas temperaturas esto en casos de incendios, considerando que el acero es un buen conductor de calor por lo cual se debe tener en cuenta recubrirlo con algún material aislante como concreto, asbesto, etc.

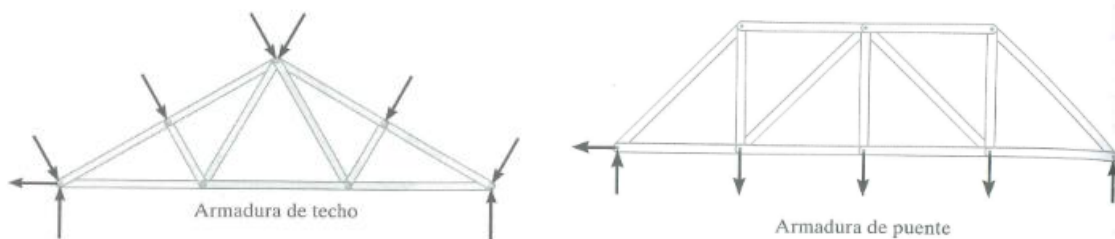
Puede ser susceptible al pandeo debido a que algunos miembros de la estructura puedan ser largos y esbeltos por lo cual en ocasiones se necesita un elemento adicional para rigidizar la estructura y evitar así el pandeo.

Si la estructura está sometida a un gran número de cambios de magnitud de esfuerzo a tensión se puede originar fatiga y de esta manera se reduce su resistencia.

Al presentar una elevada resistencia del material se puede producir problemas de esbeltez.

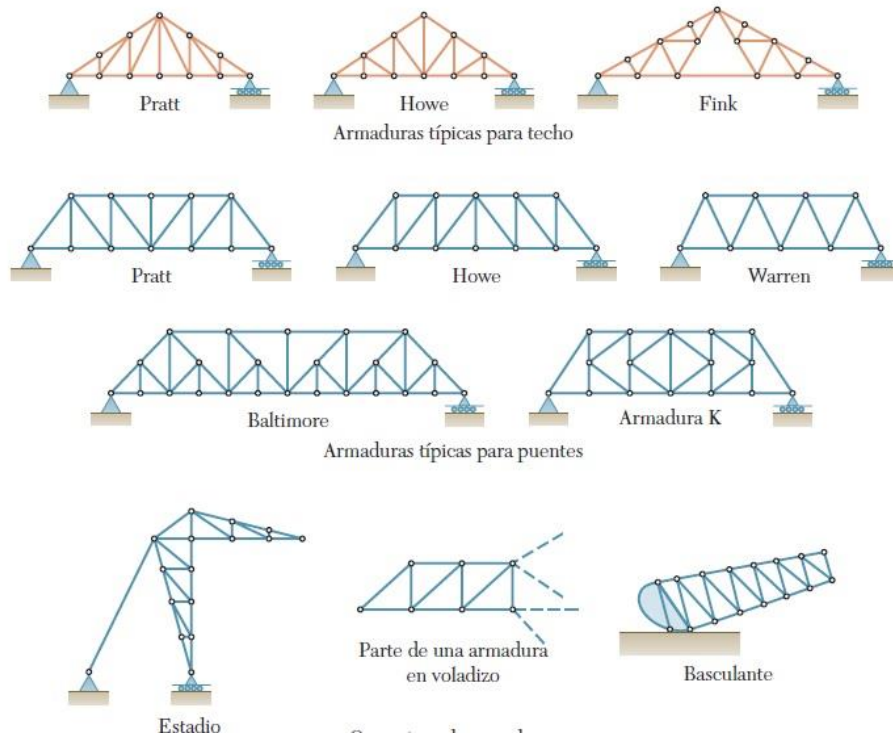
### 1.4.4 Armaduras planas

Una armadura se la puede definir como una estructura conformada por elementos rectos unidos entre sí en sus extremos que toman forma generalmente de triángulos, además se encargan de soportar cargas y comúnmente se utilizan para soportar techos y puentes.



**Figura 1.1.** Armaduras planas de techo y puente. [2]

Las armaduras se pueden clasificar según la forma en cómo se combinan sus sistemas de triangulación, como se puede observar en la figura 1.2.



**Figura 1.2.** Tipos de armaduras. [3]

### 1.4.5 Estructuras en voladizo

Una estructura en voladizo se caracteriza por tener un elemento empotrado en un extremo ya sea sobre un pilar metálico o sobre un muro. El principal efecto mecánico que sucede en este tipo de estructuras es la deflexión, debido a que si se coloca una carga sobre la está, en respuesta se producen dos reacciones en el soporte: la fuerza cortante que contrarresta a la carga y el momento flector que se encarga de evitar que el elemento rote.

Algunos ejemplos de estructuras en voladizo pueden ser:



**Figura 1.3.** Marquesina simple modelo Europa A. [4]



**Figura 1.4.** Marquesina simple modelo Europa B. [4]



**Figura 1.5.** Marquesina modelo celosía curva simple. [4]



**Figura 1.6.** Marquesina modelo Sunpark M2. [4]



**Figura 1.7.** Techo en voladizo. [5]

### 1.4.6 Estructura isostática

Son estructuras donde se pueden determinar las fuerzas internas y externas que actúan sobre los elementos que forman la estructura o globalmente sobre ella, considerando solo el equilibrio de fuerzas y momentos.

### 1.4.7 Materiales empleados para las estructuras metálicas

#### Tipos de aceros

- Aceros laminados en caliente: son aceros que pasan por rodillos a muy altas temperaturas y se caracterizan por tener una superficie rugosa, bordes y esquinas ligeramente redondeadas, distorsiones ligeras, etc. La norma para este tipo de secciones es la American Institute of Steel Construction (AISC).
- Aceros conformados en frío: son aceros más duros y fuertes en comparación a los laminados en caliente además se caracterizan por tener mejores superficies, acabados con tolerancia, superficies lisas, bordes y esquinas bien definidas, etc. La norma para este tipo de secciones es la American Iron and Steel Institute (AISI).
- Aceros con características especiales se los observa listados en la tabla 1.1:

**Tabla 1.1.** Aceros con características especiales. [6]

Aceros especiales	Aceros normalizados de grano fino para construcción soldada.
	Aceros de laminado termomecánico de grano.
	Aceros que presentan una resistencia mejorada contra la corrosión atmosférica (aceros autopatinables).
	Aceros templados y revenidos.
	aceros que presenta una resistencia mejorada a la deformación con una dirección perpendicular a la superficie.

### 1.4.8 Secciones comunes de perfiles para estructuras metálicas

#### Partes de una sección

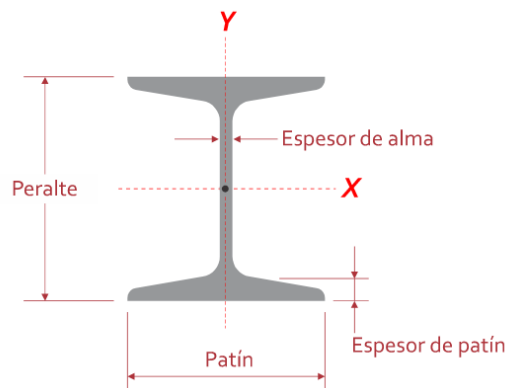
**Patín:** es el perfil de la viga y su extensión, este elemento es una placa perpendicular al alma.

**Alma:** es la parte central de la viga que se encarga de unir ambos patines.

**Peralte:** es la distancia que existe entre patines.



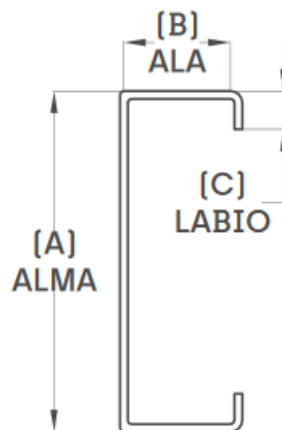
**Ala:** es el nervio ancho perpendicular situado a los bordes del alma de una viga y permite una mayor resistencia.



**Figura 1.8.** Partes de una sección. [7]

**Labio:** en perfiles estructurales de geometría G se presenta una sección como se muestra en la siguiente figura 1.9 la cual es paralela al alma y se denomina labio.

**Redondeos:** los radios de redondeo de cada perfil se los especifica en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1623:2013.

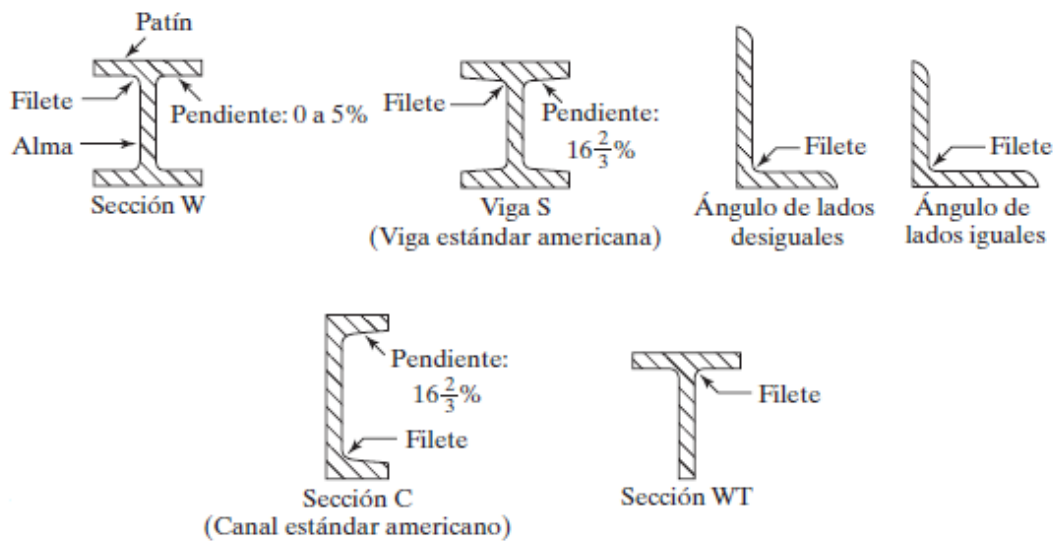


**Figura 1.9.** Perfil G. [8]

#### 1.4.9 Perfiles más utilizados en estructuras:

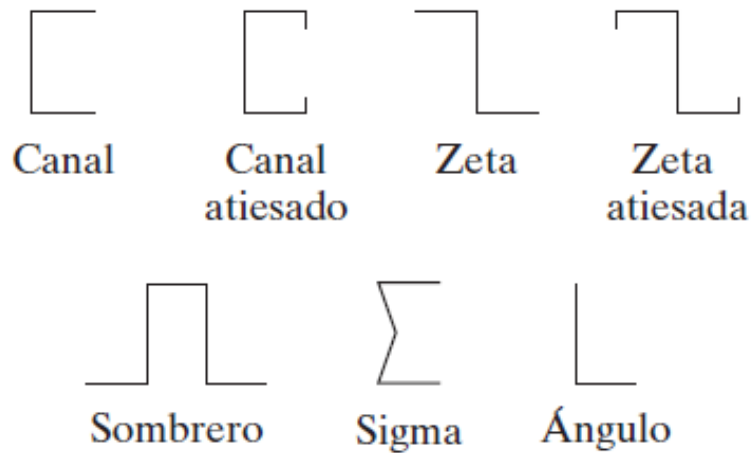
Los perfiles estructurales deben ser capaces de resistir y soportar cargas pesadas, tener una vida útil duradera y que necesite poco mantenimiento, por lo cual en la actualidad se pueden encontrar perfiles de diferente forma y se los puede categorizar en dos tipos.

Perfiles laminados en caliente: para este tipo de perfiles se utiliza la norma ASIC (American Institute of Steel Construction), los diferentes tipos de perfiles se lo puede observar en la figura 1.10.



**Figura 1.10.** Perfiles laminados en caliente. [9]

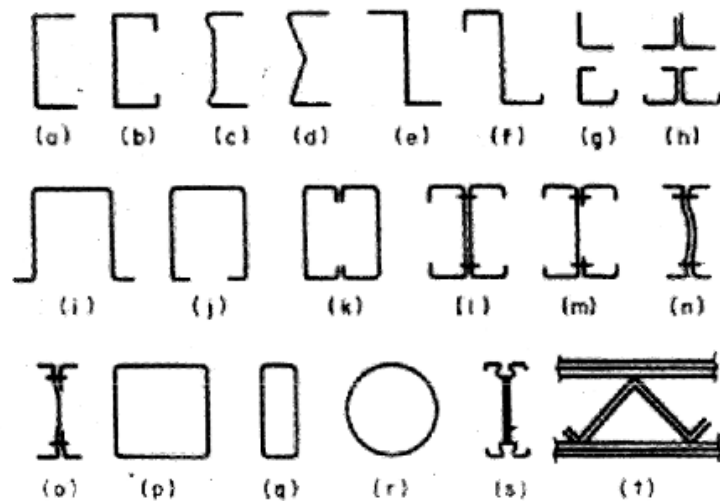
Perfiles laminados en frío: para este tipo de perfiles se utiliza la norma AISI (American Iron and Steel Institute), los diferentes tipos de perfiles se lo puede observar en la figura 1.11.



**Figura 1.11.** Perfiles laminados en frío. [9]

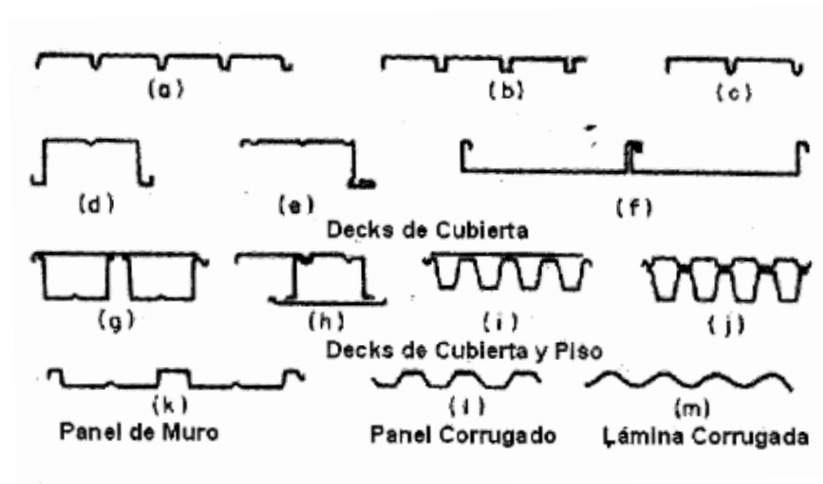
Tipos y usos de perfiles laminados en frío: este tipo de perfiles son utilizados en edificaciones donde se puede clasificar en dos grupos como lo son miembros estructurales individuales y paneles - decks.

Miembros estructurales individuales: dependiendo de la capacidad de resistencia o estabilidad que se requiere, se pueden combinar perfiles de tal manera que estos generen elementos cerrados o abiertos. Los perfiles más utilizados para estas combinaciones son del tipo C, que al unirse toman la forma de un cajón, al usar perfiles Z o perfiles I que pueden formar geometrías definidas.



**Figura 1.12.** Miembros estructurales individuales utilizados comúnmente. [10]

Paneles y decks: estos miembros se caracterizan más por su resistencia a cargas y su uso para sistemas de piso y cubiertas, además el deck tienen como principal trabajo el de resistir esfuerzos de flexión para ayudar en el sistema de piso de concreto.



**Figura 1.13.** Tipos de paneles y decks. [10]

#### 1.4.10 Propiedades geométricas de las secciones

**Resistencia nominal:** esta propiedad se la puede determinar partiendo de las propiedades geométricas y el tipo de material del cual está hecha la estructura, en el diseño estructural se lo calcula con diseño de factores de carga y resistencia (LRFD: Load and Resistance Factor Design) o con el diseño por esfuerzo permisibles (ASD: Allowable Strength Design).

**Cargas nominales:** se trata de magnitudes de carga las cuales se plantean aplicar sobre una estructura y se los puede encontrar en códigos o normas.

**Resistencia de diseño:** hace referencia a la resistencia permisible que soporta el perfil estructural, se trata de las fuerzas cortantes, cargas y momentos que se puedan presentar y en cada caso se puede utilizar el método LRFD o ASD para determinarla.

**Área neta:** se define como el área corregida en un miembro estructural debido a que en este se puede encontrar la presencia de agujeros o soldaduras.

**Área neta efectiva:** es el área reducida y corregida de un miembro estructural donde se puede observar la presencia de agujero o soldaduras y además se toma en consideración los efectos que puedan ocasionar concentradores de esfuerzo debido a elementos que no encajan en el mismo plano (es el área que se ha determinado que es capaz de resistir la carga evitando fallas por inestabilidad de los elementos que conforman la sección). Se la puede determinar multiplicando la área neta o área bruta con el factor de reducción U.

**Área bruta:** es el área transversal total de un perfil.

**Factor de reducción U:** es un factor relacionado a la excentricidad de una carga y su conexión, además su comportamiento varía dependiendo del elemento estructural.

**Esfuerzo a la tensión:** es la carga máxima que se aplica sobre un elemento estructural y se la divide por el área de la sección transversal del mismo.

**Esfuerzo de fluencia  $F_y$ :** es el esfuerzo máximo que un material puede alcanzar sin causar una deformación plástica.

**Bloque de corte:** se define como la falla en conexiones atornilladas, la falla puede ocurrir a lo largo de una trayectoria donde existe un plano a tensión y otro plano perpendicular de corte.

**Momento de inercia:** determina la distribución de masa que puede poseer un cuerpo en rotación con respecto a un eje de giro, particularmente el momento de inercia dependerá de la geométrica del elemento y la posición de su eje de giro.

**Radio de giro:** describe la forma en la que el área transversal podría girar con respecto a su eje centroidal. El radio de giro toma gran importancia cuando se requiere determinar el pandeo que se pueda producir en un perfil.

#### **1.4.11 Códigos y normas para estructuras metálicas**

##### **Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero.**

La norma de especificaciones ANSI/AISC 360-10 tiene como propósito proveer información sobre los criterios de diseño de sistemas estructurales de acero, además establece criterios

tanto para el diseño como para la fabricación y montaje de edificios que usan acero estructural, en esta norma se usan aceros estructurales laminados en caliente de la norma ASTM. [11]

**Métodos de diseño según la norma AISC:**

Diseño por resistencia usando diseño en base a factores de carga y resistencia (LRFD): se utiliza este método cuando la resistencia de diseño de cada miembro de la estructura es mayor o igual a la resistencia requerida determinada con las cargas LRFD.

El diseño se realiza de acuerdo con la ecuación:

$$R_u \leq \phi * R_n$$

**Ecuación 1.1. Método LRFD. [11]**

Donde:

$R_u$ : resistencia requerida (LRFD).

$R_n$ : resistencia nominal.

$\phi$ : factor de resistencia.

$\phi R_n$ : resistencia de diseño.

Diseño por resistencia usando diseño en base a resistencias admisibles (ASD): este método se utiliza cuando la resistencia admisible de cada miembro de la estructura es mayor o igual a la resistencia requerida determinada con las cargas ASD.

El diseño se realiza de acuerdo con la ecuación:

$$R_a \leq R_n / \Omega$$

**Ecuación 1.2. Método ASD. [11]**

Donde:

$R_a$ : resistencia requerida (ASD).

$R_n$ : resistencia nominal.

$\Omega$ : factor de seguridad.

$R_n / \Omega$ : resistencia admisible.

## **Especificación para el diseño de miembros o elementos estructurales de acero conformado en frío.**

Es un manual para el diseño de acero conformado en frío desarrollado por el comité del American Iron and Steel Institute (AISI). Los miembros estructurales pueden ser laminas, barras de acero al carbono, planchas, placas, perfiles, de igual manera que la norma AISC realiza el diseño de estos elementos utilizando el Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD), o el Diseño por Tensiones Admisibles (ASD), se define que estos dos métodos son aceptables y que no necesariamente producen los mismos resultados.

### **Norma Ecuatoriana de la Construcción Estructuras de acero**

La norma ecuatoriana de la construcción pone a disposición las consideraciones que se deben tomar al momento de diseñar, fabricar y el montaje de estructuras de acero utilizando perfiles laminados en caliente o perfiles armados y ensamblados por medio de planchas soldadas.

#### **1.4.12 Diseño de elementos**

##### **Diseño de elementos a tensión**

Los miembros estructurales a tensión están sujetos a fuerzas axiales directas, lo que provoca que el miembro se alargue y se someta a esfuerzos normales de tensión uniformes en su sección transversal.

Para determinar la resistencia nominal en miembros a tensión axial se utiliza:

$$T_n = A_n * F_y$$

$$\Omega_t = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_t = 0.95 \text{ (LRFD)}$$

#### **Ecuación 1.3. Resistencia nominal a tensión. [12]**

Donde:

$T_n$ : resistencia nominal del miembro a tensión.

$A_n$ : superficie neta de la sección transversal.

$F_y$ : tensión de fluencia ( $F_y$ , no debe ser mayor que el límite de fluencia mínimo especificado de los aceros). [12]

## Diseño de elementos a compresión

El diseño de miembros comprimidos con carga concéntrica, su resistencia axial nominal se la determina de la siguiente manera:

$$P_n = A_e * F_n$$

$$\Omega_c = 1.80 \text{ (ASD)} \quad \phi_c = 0.85 \text{ (LRFD)}$$

**Ecuación 1.4.** Resistencia nominal a compresión. [12]

Donde:

$A_e$ : superficie efectiva a la tensión  $F_n$ .

$F_n$ : se determina:

Para Factor de esbeltez  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) * F_y$

Para Factor de esbeltez  $\lambda_c > 1.5$   $F_n = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right) * F_y$

Donde:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

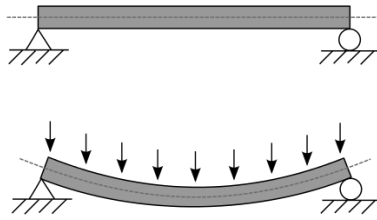
$F_e$ : la menor de las tensiones de pandeo torsional, pandeo torsional flexional. [12]

Para miembros sometidos a compresión se debe analizar también los casos:

1. Secciones no sometidas a pandeo torsional ni tampoco a pandeo torsional flexional.
2. Secciones que puedan presentar simetría simple o doble las cuales estén sometidas a pandeo torsional o a pandeo flexional torsional.
3. Secciones no simétricas.
4. Miembros comprimidos que tienen un ala unida al tablero o revestimiento mediante sujetadores pasantes.

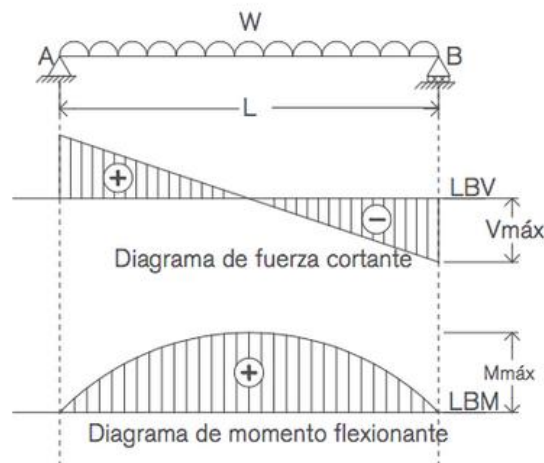
## Diseño de elementos a flexión

Para elementos estructurales que están sometidos a flexión se debe tener en cuenta que normalmente estos elementos están posicionados de manera horizontal y su carga es perpendicular al eje longitudinal, este tipo de cargas puede estar en los dos sentidos y provoca solicitaciones de flexión y cortante.



**Figura 1.14.** Ejemplo de flexión. [13]

Para evaluar las cargas distribuidas sobre una viga o placa, podemos obtener los diagramas de fuerza cortante o diagrama de momento flexionante, con estos valores nos permiten evaluar cómo actúa la carga a lo largo del elemento como se puede observar en la figura 1.15.



**Figura 1.15.** Diagramas de fuerza cortante y diagrama de momento flexionante. [14]

Donde:

$W$ = carga uniforme sobre el elemento [kg/m, N/m, Lb/in, etc].

$L$ = longitud del elemento [mm, m, ft, in, etc].

$V_{máx}$ = fuerza cortante máxima [[kg, N, Lb, etc].

$M_{máx}$ = momento flexionante máximo [kg m, N m, Lb in, etc].

Las fallas presentes en miembros estructurales sometidos a flexión debido a las cargas que actúan sobre este, se los puede clasificar de la siguiente manera:

- Falla debido al material más conocido como falla por fluencia.
- Pandeo lateral torsional.
- Pandeo local del ala que se refiere a la falla por la sección del material.



### **1.4.13 Soldadura**

La norma AISI considera que las conexiones de miembros estructurales conformados en frío deben ser por soldadura y atornilladas. Generalmente la conexión de soldadura más usada en fabricación de estructuras puede dividirse en soldadura de fusión y soldadura de resistencia.

**Soldadura de fusión:** consiste en la unión de dos metales por medio de la aplicación de un metal de aporte, en este proceso el material base debe llevar a altas temperatura hasta sobrepasar su punto de fusión.

**Soldadura de resistencia:** este proceso se caracteriza por la unión de dos elementos mediante el calor generado por el paso de corriente eléctrica y la presión de un electrodo sólido, en este proceso el electrodo no se funde.

#### **Métodos de soldadura autorizados. [6]**

- Soldadura manual con electrodo recubierto, con recubrimientos de tipo rutilo o básico.
- Soldadura semiautomática bajo protección gaseosa, donde se puede utilizar hilo macizo o tubular relleno de flux, con transferencia de lluvia.
- Soldadura semiautomática, sin protección gaseosa.
- Soldadura automática con arco sumergido.

#### **Tipos de soldadura para elementos metálicos:**

1. Soldadura por arco manual con electrodos revestidos: este tipo de soldadura es la más común donde solo se unen dos piezas metálicas provocando un arco eléctrico entre ellas. En este tipo de soldadura se utiliza electrodos los cuales pueden ser básicos, ácidos, celulósicos, oxidantes, de rutilo, además el diámetro del electrodo está en función del espesor de los elementos que se desean unir.
2. Soldadura por arco bajo gas protector, con electrodo consumible: en este tipo de soldadura se utiliza un electrodo de hilo continuo, los elementos a soldar y se utiliza un gas inerte o gas activo como protección.

#### **Clasificación de soldaduras:**

1. Soldadura a tope (penetración completa y penetración parcial)
2. Soldadura de cordones

3. Soldadura en tapón
4. Soldadura de ranura
5. Soldadura de bordes curvados

#### **1.4.14 Cargas para armaduras planas**

Para determinar las cargas que se aplican a las estructuras se debe tener en cuenta su naturaleza y duración de aplicación por lo cual se los ha categorizado como cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales.

##### **Cargas muertas**

Este tipo carga son las magnitudes que permanecen fijas y constantes en un mismo lugar, se puede considerar el peso propio de la estructura como una, además para un edificio estructural de acero, se consideran cargas muertas los muros, pisos, etc.

##### **Cargas vivas**

Las cargas que cambian de lugar y magnitud se denominan cargas vivas. Este tipo de cargas se mueven bajo su propio impulso como por ejemplo la gente, camiones, etc.

Además, las cargas que se pueden mover se las denomina cargas movibles, como son los muebles y materiales de un almacén.

También se puede considerar como cargas vivas a la siguiente clasificación:

1. Cargas de piso: para el diseño de pisos de edificios se deben considerar estas cargas vivas mínimas por gravedad, sin embargo, estos valores varían dependiendo de la ciudad en la que se plantee diseñar la estructura. Para estas cargas se debe tener en cuenta que serán colocadas en las posiciones donde se pueda producir condiciones extremas de pisos o techos.
2. Cargas de tránsito en puentes: debido a que en los puentes transitan un sin número de camiones y automóviles se debe tener en cuenta que estas cargas son magnitudes variables.
3. Cargas de impacto: este tipo de cargas son producido por vibraciones causadas por cargas móviles o movibles. Un ejemplo de estas cargas son las grúas que levantan cargas o los levadores que se detienen abruptamente al subir o bajar.

##### **Cargas ambientales**

Estas cargas son determinadas por el medio ambiente en donde se colocará la estructura.

Además, este tipo de cargas se las puede considerar como cargas vivas, pero teniendo en cuenta que son el resultado de la ubicación de la estructura y se las clasifica de la siguiente manera:

1. Nieve: al considerar que la estructura estará situada en un ambiente donde se considera la caída de nieve se debe analizar que esta carga es variable debido a que puede cubrir todo un techo o sólo parte de éste. También se debe tener en cuenta la inclinación del techo, el resguardo y la forma del techo.
2. Lluvia: al considerar un techo horizontal sin pendiente y que se pueda acumular rápidamente el agua, se debe considerar el encharcamiento que provoca deflexión en el techo hasta tomar la forma de un plato.
3. Viento: Cuando existe una presión sobre la estructura debido a una masa de aire en movimiento se denomina carga de viento, esta masa puede provocar presión en un lado de la estructura y en otra puede producir succión.
4. Cargas sísmicas: se la define como la carga horizontal oscilante que soporta una estructura debido a un sismo o terremoto, dependiendo de la ubicación geográfica su carga sísmica variara.

Ventajas de vigas de alma llena:

- Optimiza el tiempo de fabricación tanto para vigas rectas como para vigas con secciones variables.
- Disminuye el tiempo de instalación en el montaje.
- Proporciona mayor seguridad.
- Presenta una gran durabilidad.
- Tienen bajo costo de mantenimiento.

#### **1.4.15 Software para simulación**

##### **SAP2000**

Es un software de diseño estructural, también se lo puede considerar un programa de elementos finitos con un interfaz gráfico de 3D, este software permite dimensionar puentes, edificios, estructuras industriales, etc. Posee un modelo de cálculo que usa interacciones de tipo lineal, junto con matrices de rigidez con la cual se puede obtener resultados de manera gráfica y con una escala de colores para expresar el comportamiento real de una estructura.

SAP2000 posee características y funcionalidades como:

1. Análisis estáticos y líneas
2. Análisis de cargas móviles de viento, sísmicas, tensiones, etc.
3. Análisis en el dominio de la frecuencia
4. Generación automática de mallas de elementos finitos.
5. Dimensionamiento y comprobación de estructuras bajo diferentes normativas.
6. Importación y exportación de archivos con otros programas como son AutoCAD, Tekla Structure, etc.

### **SolidWorks**

SolidWorks Simulation presenta un conjunto de soluciones para un análisis estructural, este software tiene como objetivo principal el predecir el comportamiento real de una estructura, mediante el análisis de elementos finitos.

Este software puede partir de modelos CAD para un sencillo y fácil análisis.

Los análisis que puede realizarse en SolidWorks Simulation son:

1. Estudios estáticos: se pueden calcular los desplazamientos, fuerzas de reacción, deformaciones unitarias y distribución del factor de seguridad sobre un elemento sólido al momento de aplicarle una carga.
2. Estudio de frecuencia: se pueden calcular las frecuencias naturales, la resonancia de un sólido sujeto a cargas dinámicas.
3. Estudio de pandeo: al analizar un elemento sometido a cargas axiales se puede producir un desplazamiento amplio denominado pandeo.
4. Estudio térmico: calcula la distribución de temperaturas, flujo de calor y el gradiente de temperatura en una estructura por medio de mecanismo como conducción, convección y radiación.
5. Estudio de fatiga: elementos que se encuentran sometidos a cargas repetitivas o vibraciones a lo largo del tiempo se debilitan y por consecuencia se producirá una falla, este fenómeno se lo denomina fatiga.

## **Autodesk Inventor**

Autodesk Inventor es un software enfocado principalmente al diseño asistido por computadora de elementos mecánicos en 3D, permite la elaboración de dibujos en 2D con una interfaz de fácil manejo y nos permite la edición de cada dibujo de una manera rápida, también posee las herramientas de multi-CAD que permite exportar e importar archivos computarizados DWG, también facilita la elaboración de planos para elaborar planos de conjunto o de despiece.

Posee un componente de ensamblaje que permite modelar estructuras, mecanismos, maquinas, etc. Esto permite ver cómo será el funcionamiento de cualquier modelado y mejora el ajuste de estas, se comprueba la existencia de alguna interferencia al momento de establecer relaciones entre componentes. También presentan herramientas de simulación dinámica con la aplicación de fuerzas para evaluar movimientos, velocidades y aceleración de componentes, herramientas para el análisis de tensiones donde se obtendrá resultados como el desplazamiento y los esfuerzos máximos que existirán al momento de colocar cargas ya sean puntuales, distribuidas o momentos. Todas las simulaciones se las puede visualizar en animaciones lo cual ayuda en una mejor comprensión de cómo tendrá a fallar el componente o la forma en que se deformará.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Análisis de alternativas

Para determinar las estructuras metálicas de cubierta en voladizo, primero se debe asumir la aplicación de esta, para lo cual se ha planteado que pueden usarse para estacionamientos o aparcamientos para automóviles, por lo cual se debe definir los parámetros que debe cumplir para su diseño, en el país se cuenta con la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 2248) “Accesibilidad de las personas al medio físico.

Estacionamientos”, la cual nos proporciona la tabla 2.1 en la cual se analiza el tipo de vehículo que se puede considerar para la determinación de los parámetros y de la tabla 2.2 se obtiene las dimensiones mínimas que podemos usar para el diseño de la estructura.

**Tabla 2.1.** Tipos de vehículos. [15]

SUBCLASE	DESCRIPCIÓN
L	Vehículos motorizados con dos, tres o cuatro ruedas.
M1	Vehículos con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor y sin espacio para viajeros de pie.
M2	Vehículos con capacidad mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor, y cuyo Peso Bruto Vehicular no supere los 5 000 kg.
N1	Vehículos automotores cuyo Peso Bruto Vehicular no exceda de 3 500 kg.
SC	Vehículo automotor diseñado y accionado para trasladar o dar primeros auxilios a heridos o enfermos, y para cuidados en emergencias médicas.

**Tabla 2.2.** Dimensiones mínimas para plazas de estacionamiento vehicular. [15]

TIPO DE VEHÍCULO	DIMENSIONES MÍNIMAS (mm)		
	a	b	h
L	2 400	2 400	2 200
N1 y M1	2 400	5 000	2 200
M2	2 400	5 400	2 600
SC	3 500	5 400	2 600

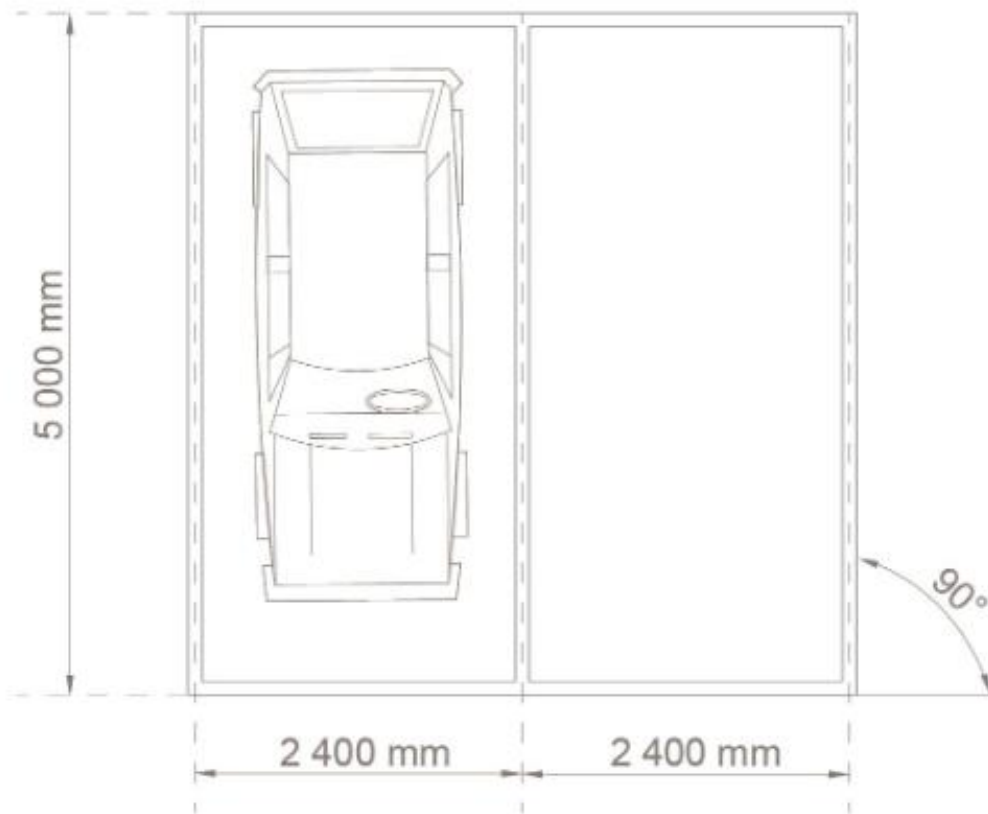
Donde:

a: ancho.

b: longitud.

h: altura mínima libre.

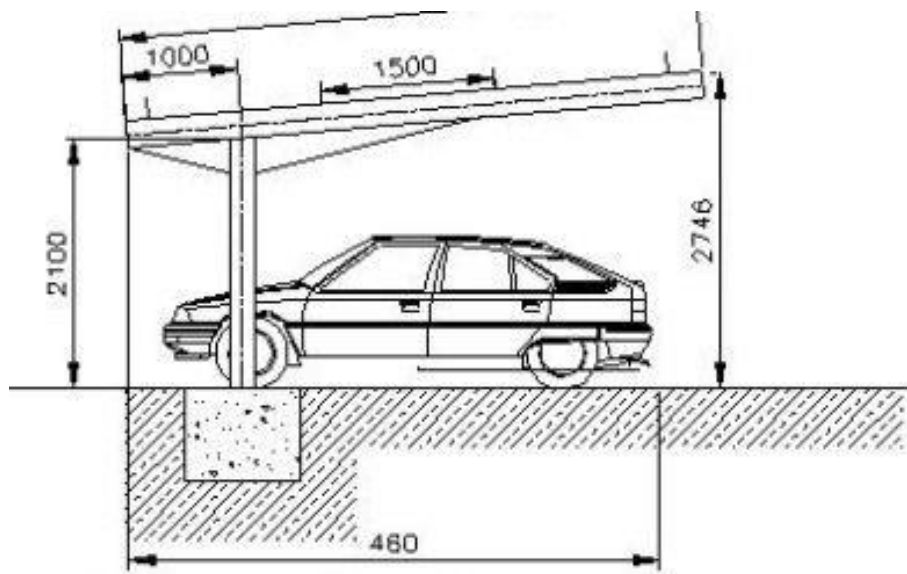
Para una mejor apreciación de estas dimensiones se las puede encontrar en la figura 2.1.



**Figura 2.1.** Dimensiones mínimas para vehículos tipo N1 y M1. [15]

Con esto definido se selecciona la forma de la estructura con la investigación de las estructuras existentes y se seleccionó 3 alternativas:

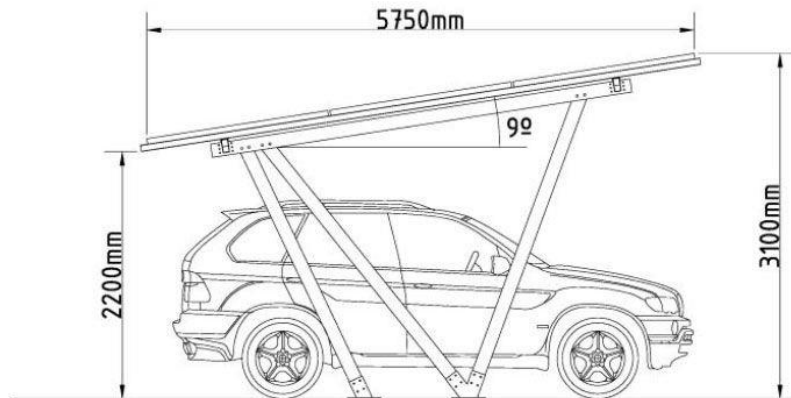
**2.1.1 Alternativa 1:**



**Figura 2.2.** Alternativa 1. [16]

La primera alternativa presenta una geometría sencilla para su fabricación, además de proporcionar dimensiones que están dentro de los descrito anteriormente, cumple con el requerimiento de servir como cubierta en voladizo para estacionamiento, utiliza perfiles de acero tipo viga-cajón donde presenta secciones y espesores variables. Puede presentar diferentes tipos de acabado como pintura o galvanizado.

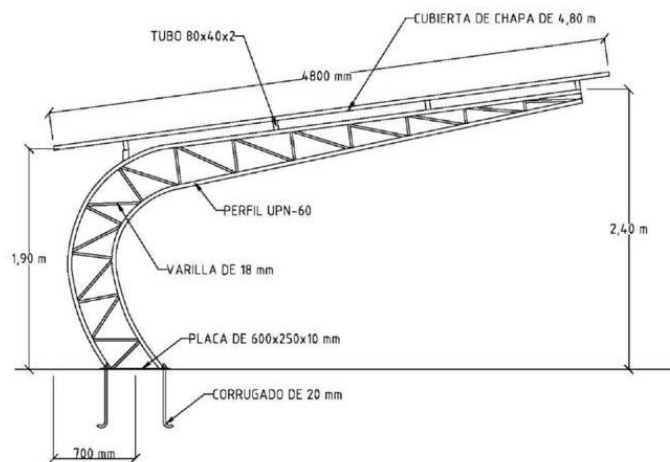
### 2.1.2 Alternativa 2:



**Figura 2.3.** Alternativa 2. [17]

Esta alternativa presenta una geometría sencilla, su instalación es fácil debido a que no necesita soldadura ni trabajos con maquinaria pesada para el montaje, sus perfiles son delgados para reducir el peso, el material utilizado no requiere mantenimiento que beneficia a la disminución del personal para el montaje. Las dimensiones que presenta están dentro de lo que aconseja la norma para estacionamientos.

### 2.1.3 Alternativa 3:



**Figura 2.4.** Alternativa 3. [18]



La tercera alternativa se considera como una estructura con modelo celosía metálica la cual está constituida por perfiles soldados, el tipo de cubierta que utiliza es una cubierta galvanizada o pintada, esta alternativa puede adaptarse a cualquier modelo funcional que se requiera. Su geometría está dentro de las dimensiones mínimas que detalla la norma de estacionamientos.

#### 2.1.4 Método de evaluación de soluciones

Para el proceso de diseño se debe escoger la mejor opción entre algunas alternativas que se presentan, por lo tanto, se recomienda utilizar el “método ordinal corregido de criterios ponderados”, que permite evaluar criterios sobre cada alternativa y designar un valor a estos, de tal manera que obtendremos resultados significativos junto con el resultado más óptimo a diseñarse.

La manera de evaluar los criterios será desarrollando tablas colocando las alternativas en las filas y columnas, a continuación, se otorgará el valor de 1 si la alternativa en la fila es mejor que la alternativa en la columna, si las dos alternativas presentan una equivalencia se colocara el valor de 0.5 y por último si la alternativa en la fila es peor que la alternativa en la columna su valor será 0.

Los criterios para analizarse son:

- Cantidad de trabajo.
- Tiempo de fabricación.
- Volumen de material.
- Precio.

Evaluación del peso específico de cada criterio:

Tiempo > Volumen > Cantidad = Precio
--------------------------------------

**Tabla 2.3.** evaluación de criterio.

Criterio	Tiempo	Volumen	Cantidad	Precio	$\sum+1$	Pondera.
<b>Tiempo</b>		0.5	1	0.5	3	0.300
<b>Volumen</b>	0		0.5	1	2.5	0.250
<b>Cantidad</b>	0	0.5		1	2.5	0.250
<b>Precio</b>	0.5	0.5	0		2	0.200
				Suma	10	1

Evaluación del peso específico del criterio Cantidad de trabajo:

Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1

**Tabla 2.4.** Criterio Cantidad de trabajo.

Cantidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Pondera.
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.417
Alternativa 2	1		0	2	0.333
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.250
			Suma	6	1

Evaluación del peso específico del criterio Tiempo de fabricación:

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2

**Tabla 2.5.** Criterio Tiempo de fabricación.

Tiempo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Pondera.
Alternativa 1		1	0.5	2.5	0.417
Alternativa 2	0.5		0.5	2	0.333
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.250
			Suma	6	1

Evaluación del peso específico del criterio Volumen de material:

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1

**Tabla 2.6.** Criterio Volumen de material.

Volumen	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Pondera.
Alternativa 1		1	0.5	2.5	0.385
Alternativa 2	1		0	2	0.308
Alternativa 3	0.5	0.5		2	0.308
			Suma	6.5	1

Evaluación del peso específico del criterio Precio:

Alternativa 3 = Alternativa 1 > Alternativa 2

**Tabla 2.7.** Criterio Precio.

Precio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Pondera.
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.455
Alternativa 2	0.5		0	1.5	0.273
Alternativa 3	0.5	0		1.5	0.273
			Suma	5.5	1

Evaluación total de cada solución:

**Tabla 2.8.** Conclusión de alternativas.

Conclusión.	Cantidad	Tiempo	Volumen	Precio	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1	0.104	0.125	0.096	0.091	0.416	1
Alternativa 2	0.083	0.100	0.077	0.055	0.315	2
Alternativa 3	0.063	0.075	0.077	0.055	0.269	3

Como se observa en la tabla 2.8 la alternativa que presenta una prioridad mayor es la alternativa 1, por lo cual se parte el diseño de la estructura de cubierta en voladizo con una geometría basada en esa alternativa.

## 2.2 Cálculo de cargas

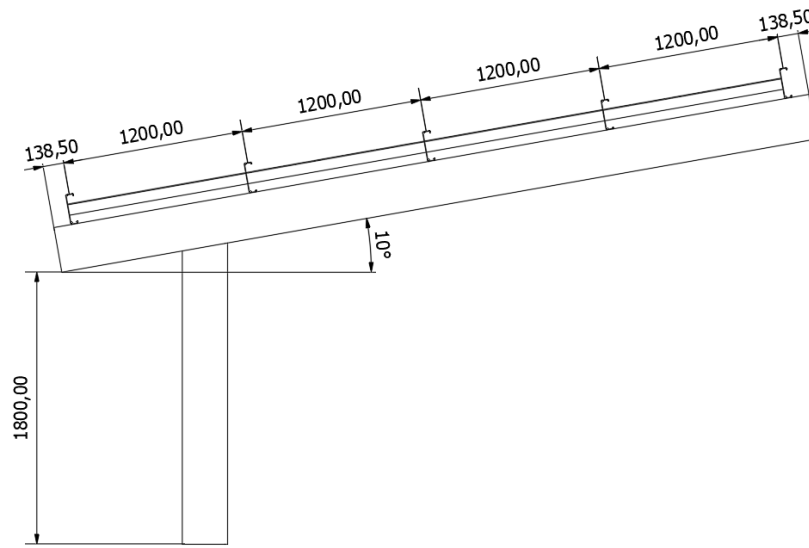
Para el diseño estructural del presente proyecto se debe comenzar con el cálculo de las diferentes cargas que actúan sobre la estructura durante toda su vida útil tomando en cuenta el lugar en donde estará ubicado y las condiciones presentes para su futuro montaje, por lo cual se utilizó las indicaciones que se encuentran en la Norma Ecuatoriana de la construcción NEC cargas no sísmicas (NEC-SE-CG) para el cálculo de cargas sísmicas se utiliza la Norma Ecuatoriana de la construcción NEC cargas sísmicas y diseño sismo resistente (NEC-SE-DS), como se mostrará a continuación.

Además, se considera que el componente A utiliza unidades en kgf/m para realizar los cálculos correspondientes en el diseño utilizando el método de diseño por tensiones admisibles (ASD) pero para una mayor facilidad de ingreso de datos en el software Autodesk Inventor que acepta unidades de N/m se hace los cambios de unidades equivalentes y se deja remarcado los valores que usa el componente A entre paréntesis.

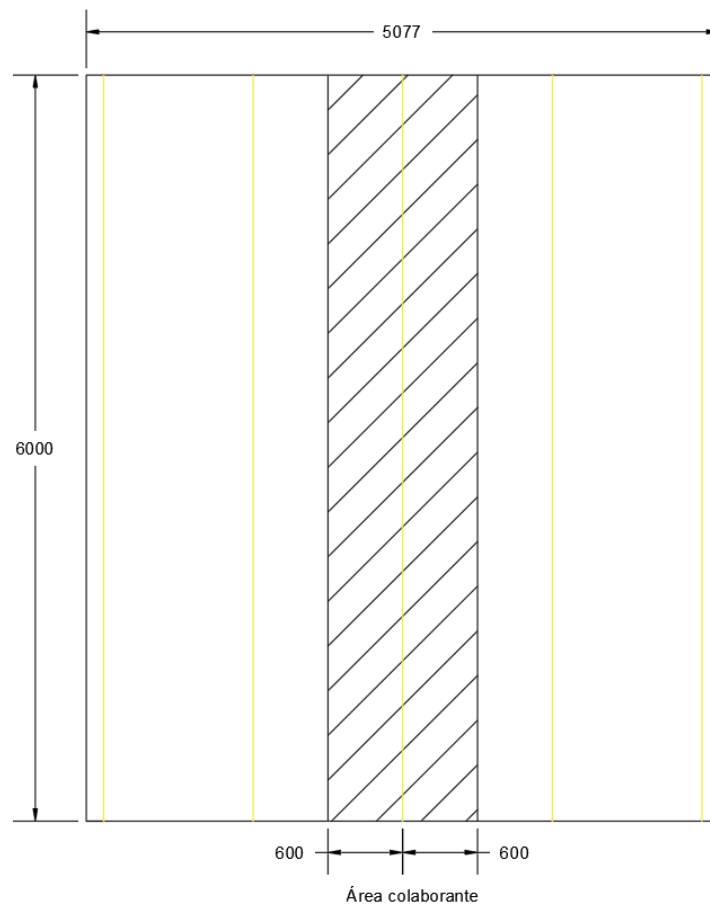
Se establece un modelo previo de la estructura la cual se planea diseñar y evaluar el comportamiento de esta con las diferentes cargas que pueden actuar sobre ella por lo cual se toma en consideración lo siguiente:

- La separación entre correas que es recomendada por el fabricante y depende del tipo de cubierta que se planea utilizar.
- El área colaborante, donde se considera que actúa las cargas.
- La inclinación de la cubierta que se optó para el proyecto es un ángulo de 10°, el cual es mayor al valor mínimo que nos indica el fabricante de 4° por lo tanto es un valor aceptable.

- Las dimensiones generales que debe tener para cumplir con lo requerido de dimensiones para estacionamiento.



**Figura 2.5.** Dimensiones de la estructura de cubierta en voladizo (vista frontal).



**Figura 2.6.** Dimensiones de la estructura de cubierta en voladizo (vista planta).

Para el área colaborante de la correa se tiene la longitud entre correa es de 1.2 [m], y se tiene una modulación de 6 [m], por tanto, se tiene.

$$A_c = L_c \times M_o$$

**Ecuación 2.1.** Área colaborante de las correas.

Donde,

$A_c$  = área colaborante de la correa medido en  $m^2$ .

$L_c$  = longitud entre correas medida en m.

$M_o$  = modulación de la cubierta medida en m.

Reemplazando los valores en la ecuación 2.1.

$$A_c = 1.2 \times 6$$

$$A_c = 7.2 [m^2]$$

### 2.2.1 Carga viva (L)

Para determinar la carga viva que actúa sobre la estructura se debe considerar que este tipo de cargas se las considera cargas verticales móviles o sobrecargas de uso, no permanecen fijas sobre la estructura, a este tipo de carga se atribuye a los pesos que estarán temporalmente sobre la misma, entre estos pesos se pueden encontrar: el peso del personal que se encargará del montaje, peso del equipo que se utilizará para su instalación, peso de herramientas pequeñas, peso de mantenimiento, etc.

Para el caso de la cubierta en voladizo que se plantea diseñar se basó en la tabla 2.9. que se la puede encontrar en la norma INEN-NEC-SE-CG 26-1 (apéndice A), en la cual nos proporciona el valor de carga viva para diferentes usos.

Al ser una cubierta con una inclinación de  $10^\circ$  el presente proyecto, se observa que podemos seleccionar el primer valor de la tabla 2.9 definiendo de tal manera:

$$L_u = 0.7 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

**Ecuación 2.2.** Carga viva uniforme para cubierta.

Donde:

$L_u$  = Carga viva uniforme para cubierta [ $kN/m^2$ ].

**Tabla 2.9.** Carga viva mínima para cubiertas. [19]

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> )	Carga concentrada (kN)
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión. Cubiertas destinadas para propósitos especiales	4.80	
Toldos y carpas	i	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0.24 (no reduc.)	
Todas las demás	1.00	
Elementos principales expuestos a áreas de trabajo		8.90
Carga puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubiertas sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular		1.40
Todos los otros usos Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores		1.40
En la región andina y sus estribaciones, desde una cota de 1000 m sobre el nivel del mar, no se permite la reducción de carga viva en cubiertas para prevenir caídas de granizo o ceniza.		

En la norma NEC también se estipula una limitación para la reducción de sobrecargas en cubiertas, mencionando que si la región en la cual está ubicada la estructura se encuentra sobre los 1000 metros sobre el nivel del mar no es admisible una reducción en el valor de la carga viva obtenido en la tabla 2.9 de modo que esto permite la prevención de caída tanto de granizo como de ceniza [19], por lo tanto, al encontrarse ubicado en Quito la cual se encuentra a 2850 metros sobre el nivel del mar se toma en cuenta la limitación.

Para obtener una carga puntual, se procede a utilizar el área colaborante de la correa cuyas dimensiones están definidas en la figura 2.6 y se calcula en la ecuación 2.1 de tal manera que se obtiene:

$$L_p = A_c \times L_u$$

**Ecuación 2.3.** Carga viva puntual.

Donde,

$L_p$  = Carga viva puntual expresada en [N].

$A_c$  = Área colaborante de las correas, expresada en [m<sup>2</sup>].

Remplazando los valores, en la ecuación 2.3.

$$L_p = 7.2 \times 0.7 \times 1000$$

$$L_p = 5040 \text{ [N]} \rightarrow (513.76 \text{ [Kgf]})$$

Teniendo en cuenta que para el análisis es necesario distribuir toda la carga alrededor de la correa se procede a calcular la carga viva distribuida, la cual viene dada por

$$L = \frac{L_p}{M_o}$$

**Ecuación 2.4.** Carga viva distribuida.

Donde,

$L_p$  = carga viva distribuida, expresada en [N/m].

$M_o$  = modulación de la cubierta medida en [m].

Remplazando los valores en la ecuación 2.4.

$$L = \frac{5040}{6}$$

$$L = 840 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} \right] \rightarrow \left( 85.63 \left[ \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \right] \right)$$

### 2.2.2 Carga muerta (D)

Las cargas muertas o cargas permanentes se las puede determinar por medio de los pesos de cada elemento que constituye la estructura tales como columnas, vigas, steel panel, pisos, techos, sistemas eléctricos, etc. Para lo cual se debe estimar la cantidad de material que estará constituida la estructura y junto con catálogos o fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes se podrá calcular la carga muerta.

En base a la tabla 2.10, se entiende que la carga muerta total es la suma de los pesos totales de los componentes, así se obtiene.

$$D = 3258.98 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} \right] \rightarrow 332.11 \left[ \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \right]$$

**Ecuación 2.13.** Carga muerta total de la cubierta.

Donde

$D$  = carga muerta total de la cubierta, expresada en [N/m].

**Tabla 2.10.** Pesos de los materiales de la estructura.

Elemento	Tipo de perfil	Peso [Kgf/m]	Cant.	Long. [m]	Peso total [Kgf/m]	Peso total [N/m]
Correas	G 200x50x15x3	7.25	5	6	36.25	355.61
Separador de correas	L 75x75x6	6.53	4	1.2	26.12	256.23
Columna	G 300x100x35x6	24.75	4	1.993	99	971.19
Viga	G 300x100x35x6	24.75	4	5.077	99	971.19
Separador de columnas	G 250x100x25x5	18.17	2	5.6	36.44	357.47
Steel panel	AR-2	7.08	5	0.775	35.4	347.27
<b>TOTAL</b>					<b>332.11</b>	<b>3258.98</b>

Los resultados obtenidos en la tabla 2.10, son obtenidos tomando el peso del material dado por el fabricante y multiplicándolo por la cantidad de elementos que conforman la cubierta y así se obtiene los valores de carga que está distribuida dentro de cada elemento.

Para el Steel panel, su peso viene dado en  $Kgf/m^2$ , como este peso va aplicado a las correas, se usa el área colaborante de las correas el cual se lo definió en la ecuación 2.1, y así se obtiene una carga puntual, luego esta se la distribuye en toda la longitud de la correa total, y esta se la multiplica para la cantidad de correas a utilizar que en este caso son 5, de tal manera que se obtiene el valor de 347.27 [N/m], para una mejor comprensión se presenta el siguiente ejemplo de su cálculo:

$$D_s = 5.9 \left[ \frac{Kgf}{m^2} \right]$$

**Ecuación 2.5.** Peso del Steel panel.

Es necesario el área colaborante en las correas ya calculado en la ecuación 2.1.

$$A_c = 7.2 [m^2]$$

Y así en base a la ecuación 2.3, se procede a obtener una carga puntual.

$$W'_s = D_s \times A_c$$

**Ecuación 2.6.** Carga puntual de peso del Steel panel.

Remplazando valores en la ecuación 2.6, se obtiene:

$$W'_s = 42.48 [Kgf]$$



Y para obtener una carga distribuida en toda la correa esta deber ser dividida por la longitud de esta.

$$W_s = \frac{W'_s}{L_c}$$

**Ecuación 2.7.** Carga distribuida de peso del Steel panel.

Donde,

$L_c$  = longitud de la correa, expresada en [m].

Remplazando valores en la ecuación 2.7, se obtiene,

$$W_s = 35.40 \left[ \frac{Kgf}{m} \right] \rightarrow 347.27 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

### 2.2.3 Carga de viento (W)

La carga de viento depende de la ubicación en donde se encontrará la estructura, la altura que presentará y su forma.

Tomando como base las consideraciones de la norma NEC la cual establece que para el diseño de cualquier estructura que no sea mayor a 10 m de altura se puede establecer como velocidad máxima el valor de 21 m/s (75 km/h) [19], por lo tanto, al estimar que la estructura a diseñar no sobrepasa lo mencionado anteriormente se procede a realizar los siguientes cálculos:

Velocidad corregida del viento

$$V_b = V \times \sigma$$

**Ecuación 2.8.** Velocidad corregida del viento. [19]

Donde:

$V_b$ : velocidad corregida del viento [m/s].

$V$ : velocidad instantánea máxima del viento [m/s].

$\sigma$ : coeficiente de corrección, presentado en la tabla 2.11. [19]

Estableciendo que el proyecto no supera una altura de 5 metros y se considera que la obstrucción donde se planea montar es baja, el valor del coeficiente de corrección es 0.86.

**Tabla 2.11.** Coeficiente de corrección. [19]

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

Remplazando valores en la ecuación 2.8:

$$V_b = 21 \times 0.86 = 18.06 \text{ [m/s]}$$

A continuación, se procede a calcular la presión del viento, el cual va a actuar como una presión o succión sobre los elementos de fachada dependiendo del grado de inclinación de la cubierta para lo cual la norma NEC establece lo siguiente:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times V_b^2 \times C_e \times C_f$$

**Ecuación 2.9.** Presión del viento. [19]

Donde:

P: Presión de cálculo expresada en Pa (N/m<sup>2</sup>).

$\rho$ : Densidad del aire expresada en Kg/m<sup>3</sup> (1.25 Kg/m<sup>3</sup>).

$C_e$ : Coeficiente de entorno/altura.

$C_f$ : Coeficiente de forma. [19]

**Tabla 2.12.** Coeficiente de entorno/altura  $c_e$ . [20]

Altura sobre el nivel del suelo		Exposición B	Exposición C	Exposición D
ft	m			
0-15	0-4.6	0.57 (0.70) <sup>a</sup>	0.85	1.03
20	6.1	0.62 (0.70) <sup>a</sup>	0.90	1.08
25	7.6	0.66 (0.70) <sup>a</sup>	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
60	18.0	0.85	1.13	1.31
80	24.4	0.93	1.21	1.38
100	30.5	0.99	1.26	1.43

a=0.70 cuando la altura es menor a 30 ft (9.1 m)

Para el coeficiente de altura nos guiamos en la tabla 2.12, la cual se deriva de la norma ASCE/SEI 7-22, considerando una exposición B y la altura de la cubierta no supera los 9.1 metros de altura.

Donde:

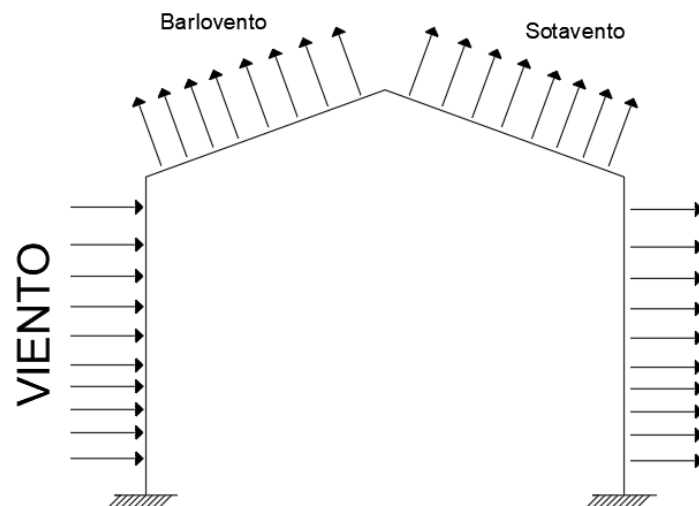
Exposición B: área residencial suburbana con viviendas unifamiliares, para edificios u otras estructuras con una altura menor a 30 ft (9.1 m). [20]

Exposición C: Terrenos abierto, llanuras, planos abiertos con obstrucciones dispersas que presentan una altura generalmente menor a 30 ft (9.1 m). [20]

Exposición D: Zonas crítica con áreas planas no obstruidas expuesta a flujo de viento con velocidades de 129 km/h. [20]

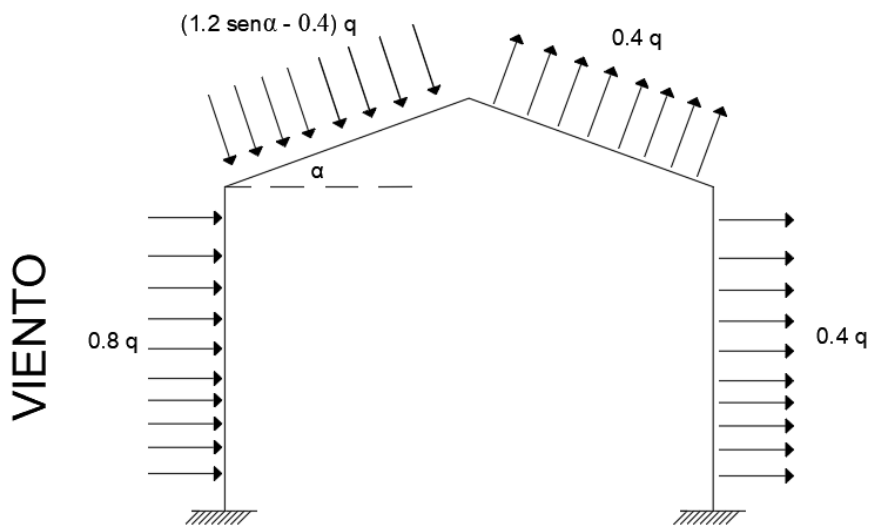
Una vez establecido la exposición y la altura sobre el nivel del suelo se define que  $C_e=0.57$ .

En la figura 2.5 se puede observar cómo actúa el viento sobre una estructura, además se debe tomar en cuenta que al momento de que el aire choca contra la superficie se producen presiones sobre la misma, en la sección vertical a barlovento dependiendo de la inclinación de la superficie puede existir presión o succión y en la sección vertical a sotavento existe succión.



**Figura 2.7.** Acción del viento sobre una estructura.

Al considerar el ángulo en la cubierta cómo se indica en la figura 2.7, se muestra que existe succión en la superficie a barlovento y esto sucede con pendientes menores a los  $25^\circ$ , y con pendientes mayores se presentará presión [21]. En el caso del sotavento, sin importar la inclinación solo existirá succión.



**Figura 2.8.** Acción del viento sobre una estructura.

Para determinar el factor de forma  $C_f$  se debe considerar que existirá barlovento en las superficies inclinadas y no en las superficies verticales debido a que la estructura no cuenta con paredes y se considera como una estructura abierta. Para lo cual en la tabla 2.13 se observa que el barlovento en superficies inclinadas a  $15^\circ$  o menos establece un valor entre  $+0.3$  a  $0$ , y en el presente proyecto se definió escoger  $0.3$  para los cálculos necesario.

**Tabla 2.13.** Factor de forma  $C_f$ . [19]

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

Remplazando los valores encontrados en la ecuación 2.9:

$$P = \frac{1}{2} \times 1.25 \times 18.06^2 \times 0.57 \times 0.6 = 69.72 \left[ \frac{N}{m^2} \right] \rightarrow \left( 7.11 \left[ \frac{N}{m^2} \right] \right) \text{ a succión}$$

A continuación, se procede a obtener la carga puntual de la carga de viento:

$$W_p = A_c \times P$$

**Ecuación 2.10.** Carga puntual de viento.

Donde,

$W_p$  = carga puntual de viento medido en [N].

$A_c$  = área colaborante de la correa medido en [m<sup>2</sup>].

$P$  = Presión de calculo que es expresada en [N/m<sup>2</sup>].

Remplazando valores en la ecuación 2.10.

$$W_p = 7.2 \times 69.72$$

$$W_p = 501.984 [N] \rightarrow (51.17 [Kgf])$$

Teniendo en cuenta que para el análisis es necesario distribuir toda la carga alrededor de la correa se procede a calcular la carga distribuida de viento, la cual viene dada por

$$W = \frac{W_p}{M_o}$$

**Ecuación 2.11.** Carga distribuida de viento.

Donde,

$W$  = carga distribuida de viento, expresada en [N/m].

$M_o$  = modulación de la cubierta medida en [m].

$W_p$  = carga puntual de viento medido en [N]

Remplazando los valores en la ecuación 2.

$$W = \frac{504.984}{6}$$

$$W = 84.164 \left[ \frac{N}{m} \right] \rightarrow \left( 8.53 \left[ \frac{Kgf}{m} \right] \right)$$

Por último, se procede a aplicar un factor de reducción de 0.75 que se explica en base a la norma AISI 1996, para el método ASD.

$$W = 0.75 * W$$

**Ecuación 2.12.** Carga de viento con factor de reducción ASD.

Así reemplazando valores en la ecuación 2.12, se obtiene.

$$W = 63.123 \left[ \frac{N}{m} \right] \rightarrow \left( 6.40 \left[ \frac{Kgf}{m} \right] \right)$$

#### 2.2.4 Carga sísmica (E)

Las cargas sísmicas consisten en movimientos horizontales que actúan principalmente en las columnas de una edificación y en la norma NEC se describe las consideraciones que se presentan para calcular esta carga de manera aproximada, utilizando la ecuación 2.13 definida como el cortante basal de diseño (V).

$$V = \frac{I \times Sa(Ta)}{R \times \phi_p \times \phi_E} \times W$$

**Ecuación 2.13.** Cortante basal total de diseño. [19]

Donde:

V: Cortante basal total de diseño.

S<sub>a</sub>: Espectro de diseño en aceleración.

$\phi_p \times \phi_E$ : Coeficiente de configuración en planta y elevación.

I: Coeficiente de importancia.

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.

T<sub>a</sub>: Periodo de vibración.

W: Carga sísmica reactiva. [19]

#### Zonificación sísmica y factor de zona (Z).

La estructura se ubicará en Quito por lo cual en la figura 2.9 se identifica la zona sísmica del ecuador definiéndolo en el rango V, y en la tabla 2.14 se obtiene el valor del factor de zona Z para V es de 0.4.

**Tabla 2.14.** Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. [19]

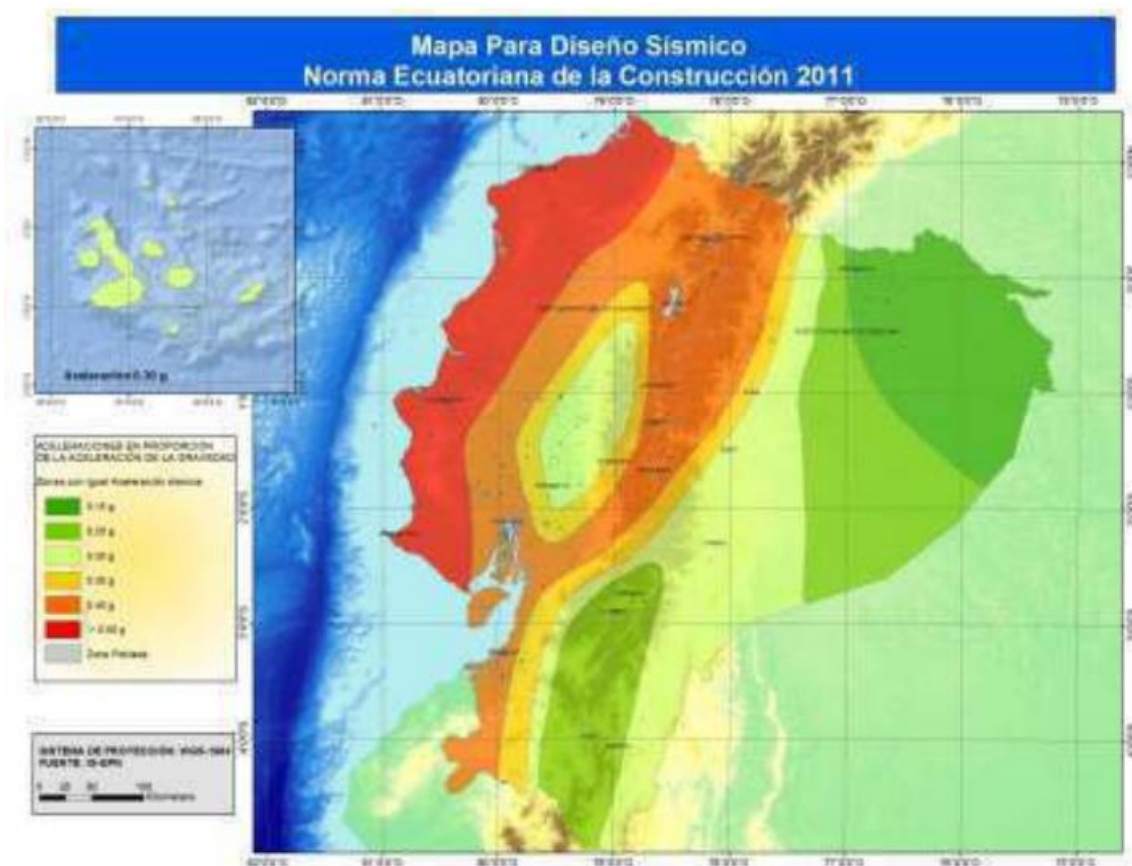
Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

El tipo de perfil de suelos para el diseño sísmico de la estructura en voladizo es tipo E que es el que cumple con la descripción que da la norma la cual estipula que el valor de  $V_s < 180$  m/s, además para determinar el valor de la relación de ampliación espectral  $\eta$  dependiendo en que región del Ecuador se dispone a montar la estructura disponemos los siguientes valores:

$\eta$ : Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas).

$\eta$ : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

$\eta$ : Provincias del Oriente. [19]



**Figura 2.9.** Ecuador, zonas sísmicas y valor del factor de zona Z. [19]

### Espectro de respuesta elástico de aceleraciones $S_a$

$$s_a = \eta \times Z \times Fa \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c$$

**Ecuación 2.14.** Espectro de respuesta elástico de aceleración. [19]

Donde:

$\eta$ : Razón entre la aceleración espectral  $S_a$  ( $T=0.1$  s)

Z: Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño.

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

T: Periodo fundamental de vibración de la estructura.

Tc: Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico.

### Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico $T_c$

$$T_c = 0.55 \times Fs \times \frac{Fd}{Fa}$$

**Ecuación 2.15.** Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico. [19]

Donde:

Fs: Comportamiento no lineal de los suelos

Fd: Desplazamientos para diseño en roca.

### Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó (Fa).

Definido el tipo de perfil del subsuelo y el valor factor Z se determina  $Fa=1.14$ , como lo indica la tabla 2.15.

**Tabla 2.15.** Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. [19]

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.50$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97



### Desplazamientos para diseño en roca (Fd).

Definido el tipo de perfil del subsuelo y el valor factor Z se determina  $F_d=1.6$ , como lo indica la tabla 2.16.

**Tabla 2.16.** Desplazamientos para diseño en roca. [19]

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.50$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

### Comportamiento no lineal de los suelos (Fs).

Definido el tipo de perfil del subsuelo y el valor factor Z se determina  $F_a=1.9$ , como lo indica la tabla 2.17.

**Tabla 2.17.** Comportamiento no lineal de los suelos. [19]

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.50$
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Una vez definido estos valores se puede reemplazarlos en la ecuación 2.15:

$$T_c = 0.55 \times 1.9 \times \frac{1.6}{1} = 1.672$$

Así se continua, y se procede a calcular el espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones, reemplazando datos en la ecuación 2.14:

$$s_a = 2.48 \times 0.4 \times 1 = 0.992 \quad \text{para } 0 \leq T \leq 1.672$$

### Coeficiente de importancia (I).

**Tabla 2.18.** Categoría de edificio y coeficiente de importancia I. [19]

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

Obteniendo que el coeficiente de importancia  $I=1$ , al considerar al presente proyecto como otras estructuras.

### Coeficiente de configuración en planta y elevación ( $\phi_p \times \phi_E$ ).

Los coeficientes de configuración en planta y elevación tomarán los valores de 1 debido a que se les considera como regular en planta y regular en elevación.

### Factor de reducción de resistencia sísmica (R).

Al contener elementos conformados en frío el factor de reducción de resistencia sísmica es  $R=1.5$

**Tabla 2.19.** Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada. [19]

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas estructurales de ductilidad limitada	R
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HA, limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 4 metros.	3
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	1.5

### Periodo de vibración (Ta).

$$T_a = Ct^{hn^\alpha}$$

**Ecuación 2.16.** Periodo de vibración. [19]

Donde:

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificación.

hn: Altura máxima de la edificación de n pisos. [19]

**Tabla 2.20.** Coeficiente que depende del tipo de edificación. [19]

Tipo de estructura	Ct	$\alpha$
<b>Estructuras de acero</b>		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.047	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.049	0.75

Debido a que nuestra estructura presenta arriostramientos se establece que  $Ct=0.073$  y  $\alpha=0.75$ , de tal manera que al reemplazar los valores en la ecuación 2.16:

$$T_a = 0.073^{3^{0.75}} = 1.66$$

### Carga sísmica reactiva (W).

Carga sísmica reactiva está establecida por la carga muerta total de la estructura (D).

$$W = 3258.98 \left[ \frac{N}{m} \right] \rightarrow \left( 332.11 \left[ \frac{Kgf}{m} \right] \right)$$

Con todos los valores determinados se procede a reemplazarlos en la ecuación 2.13, para calcular Cortante basal total de diseño:

$$V = \frac{1 \times 0.992(1.66)}{1.5 \times 1 \times 1} \times 3258.98 = 358.54 \left[ \frac{N}{m} \right] \rightarrow \left( 36.548 \left[ \frac{Kgf}{m} \right] \right)$$

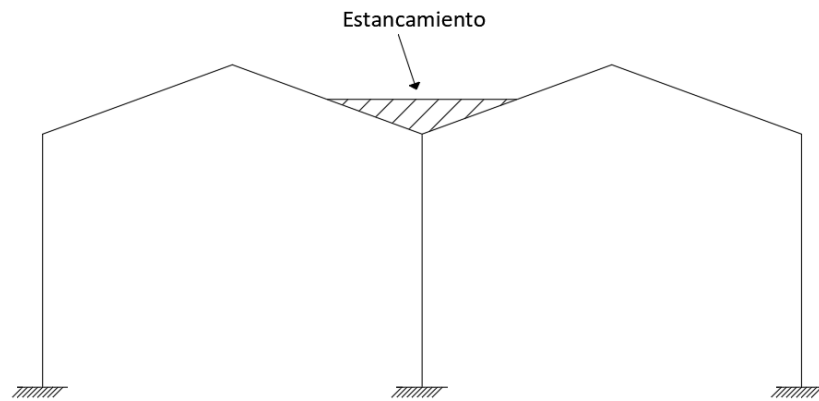
Al analizar la carga sísmica sobre la estructura, se debe tener en cuenta que se trata de una carga puntual que se aplica a la columna. Por lo tanto, para obtener el resultado correcto, es necesario multiplicar la carga por la altura de la columna.

$$V = 358.54 \times 1.993 = 714.57 \text{ [N]}$$

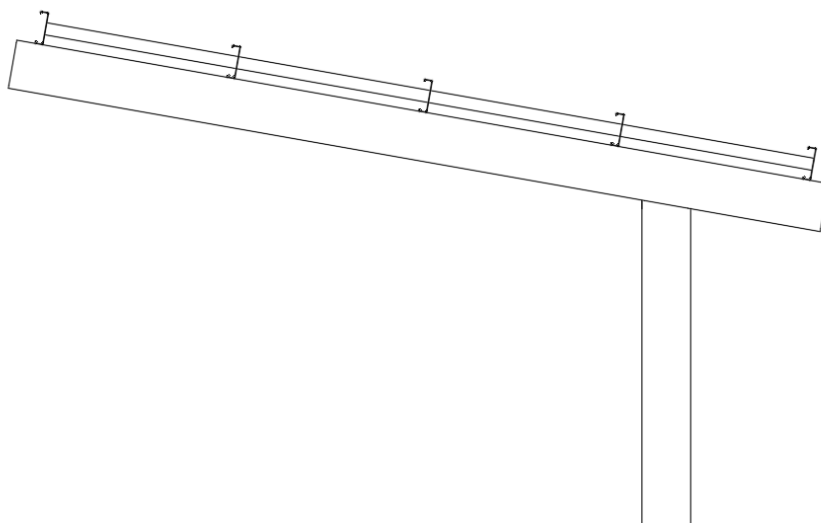
Para el diseño ASD la norma AISI establece:  $0.75 \times 714.57 = 535.927 \text{ [N]} \rightarrow (54.63 \text{ [Kgf]})$

### 2.2.5 Carga de granizo (S), Carga de lluvia (R)

Para el presente proyecto se consideró que estas dos cargas no actuarán sobre la cubierta en voladizo debido a su geometría, como se muestra en la figura 2.8 donde se observa que para considerar este tipo de cargas debe existir un acumulación de agua o estancamiento, en cambio para la estructura en voladizo con una inclinación como se examinar en la figura 2.9 no existe posibilidad de un estancamiento y tampoco se considera la instalación de un canal de lluvia, por lo tanto este tipo de cargas se omiten.



**Figura 2.10.** Estancamiento de agua en una estructura.



**Figura 2.11.** Cubierta en voladizo.

## 2.3 Combinación de cargas

La combinación de cargas para este proyecto se lo diseñará en base a resistencias admisibles (ASD), y junto con lo que indica la norma AISI:

1. D.
2.  $D + L + (L_r \text{ o } S \text{ o } R_r)$ .
3.  $D + (W \text{ o } E)$ .
4.  $D + L + (L_r \text{ o } S \text{ o } R_r) + (W \text{ o } E)$ .

Donde:

D: se designa a la carga muerta.

L: Carga viva.

$L_r$ : Sobrecarga sobre la cubierta.

S Carga de nieve.

$R_r$  Carga de lluvia,

W Carga de viento.

E Carga sísmica.

Para que resulten más factible la visualización de las cargas que se calcularon anteriormente se presenta la tabla 2.21 donde queda indicado su valor tanto para N/m como para Kg/m.

**Tabla 2.21.** Equivalencias entre unidades para el software y el componente A.

Tipo de carga	[N/m]	[Kg/m]
Viva	840	85.63
Muerta	3258.98	332.11
Viento	62.12	6.40
Sísmica	358.54	36.54
Nieve	-	-
Lluvia	-	-

A continuación, en la tabla 2.22 se presenta los resultados calculados para las diferentes combinaciones que existen.

**Tabla 2.22.** Combinación de carga (ASD).

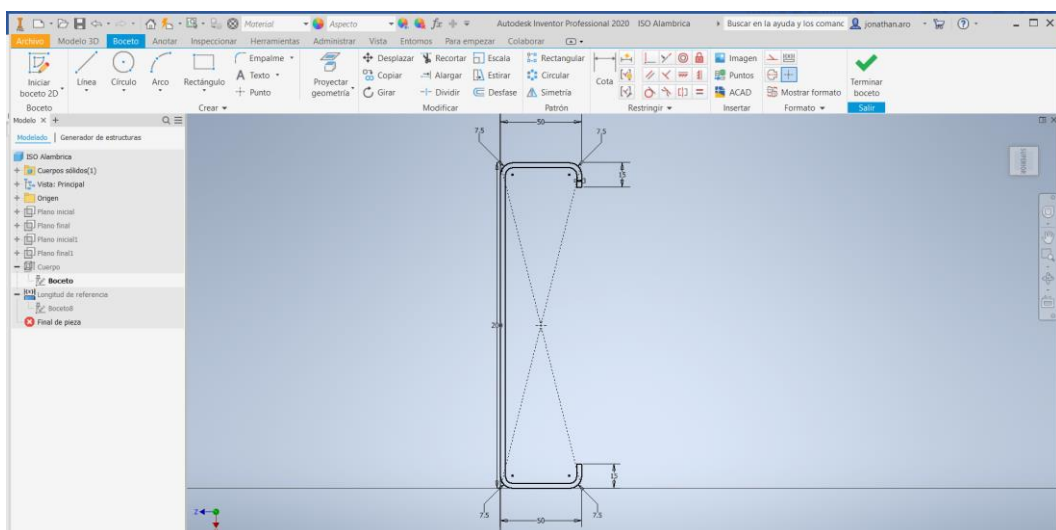
Combinación de carga	[N/m]	[Kgf/m]	Observación
1	3256.86	332.110	N/A
2	4096.57	417.737	N/A
3.1	3319.59	338.506	Se considera la carga de viento
3.2	3525.68	359.521	Se considera la carga de sismo
4.1	4159.30	424.133	Se considera la carga de viento
4.2	4365.38	445.148	Se considera la carga de sismo

Como se observa en la tabla 2.22 la combinación más crítica es la combinación número 4 por lo cual se procede a diseñar en base a esa combinación de carga.

## 2.4 Modelado y simulación de cada elemento

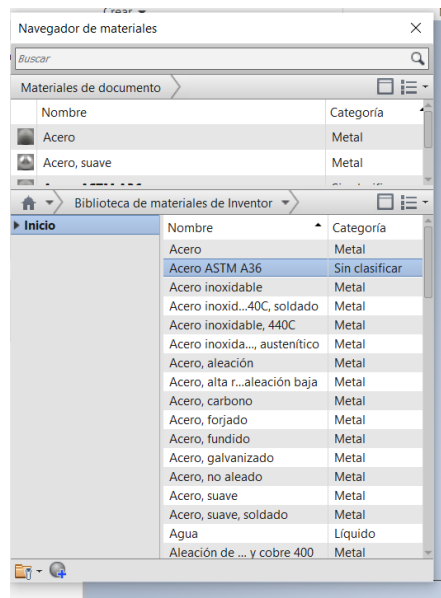
Para la modelación de cada elemento de la estructura de cubierta en voladizo se utilizó el software CAD inventor con el que la EPN cuenta con licencia educativa, que nos facilita la realización de bosquejos 2D para después extruir y tener la pieza en 3D. Para la simulación de cómo actúan las cargas obre cada elemento se utiliza las herramientas de Autodesk Inventor como son análisis de tensiones y análisis de estructura. Además, también nos proporciona una gran biblioteca de diferentes tipos de materiales, que para el presente proyecto se opta por usar acero ASTM A-36, el cual costa en su biblioteca con sus respectivas propiedades mecánicas.

### 2.4.1 Autodesk Inventor



**Figura 2.12.** Boceto 2D realizado en Autodesk Inventor

Inventor es un software que permite realizar bocetos 2D y piezas 3D, como se lo muestra en la figura 2.12 donde se presenta el boceto de un perfil G para después configurarlo como un perfil personalizado si es que no cuenta con este perfil en la biblioteca que tiene Autodesk inventor incorporado, además se presenta la imagen 2.13 como ejemplo de la biblioteca de materiales que posee, el cual es útil al momento de realizar las simulaciones que corresponden a este proyecto.



**Figura 2.13.** Biblioteca de material que dispone Autodesk Inventor.

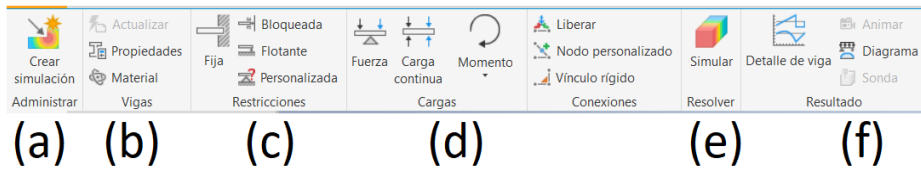
Para la simulación de cada elemento que compone la estructura de cubierta en voladizo se utilizará las herramientas de Análisis estructural y Análisis de tensiones que presenta Autodesk Inventor, en la pestaña de entornos como se muestra en la figura 2.14.



**Figura 2.14.** Herramientas para la simulación de elementos estructurales.

### Análisis de estructura

Con la herramienta de “análisis de estructura” se puede obtener los diagramas de fuerzas cortantes y momento flector que resultan de las cargas que se ingresen al software, además de los resultados de desplazamientos, fuerzas, momentos, tensiones normales, tensiones de corte, tensiones de torsión y diagramas.



**Figura 2.15.** Herramientas para el análisis de estructura.

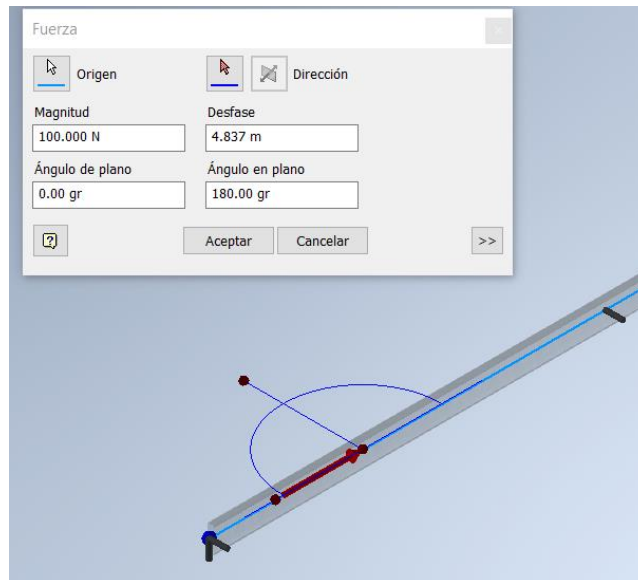
Donde:

(a) Permite crear la simulación y darle un título de ser necesario.

(b) Se permite observar y personalizar las propiedades del elemento tales como la geometría, centroides, y propiedades mecánicas. También la herramienta “Material” se despliega según convenga insertar un material debido a que lo modelado en el software viene designado con otro material por defecto.

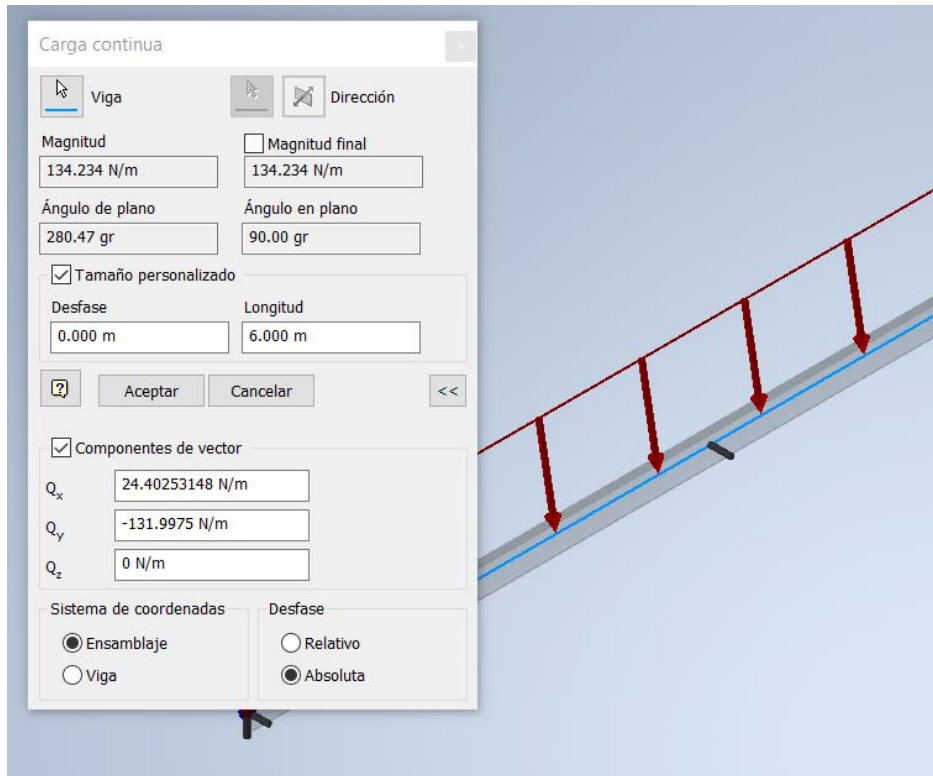
(c) Las restricciones que no ofrece Autodesk Inventor como son fija, bloqueada, flotante y personalizada, esta última se utilizará en gran medida para las simulaciones del proyecto debido que se analizar cada elemento por planos.

(d) Las cargas que nos permite ingresar el software son tres tipos: Fuerza, carga continua y momentos, los cuales se deben ingresar con las unidades de N, N/m y N m, correspondientemente, además se puede poner un desfase con respecto a los nodos que el software identifica por defecto como se muestran en las figuras 2.16, 2.17, 2.18 también admite la colocación de carga dependiendo del ángulo o las componentes según sea como está ubicado el elemento a analizar con respecto a su sistema de coordenadas.

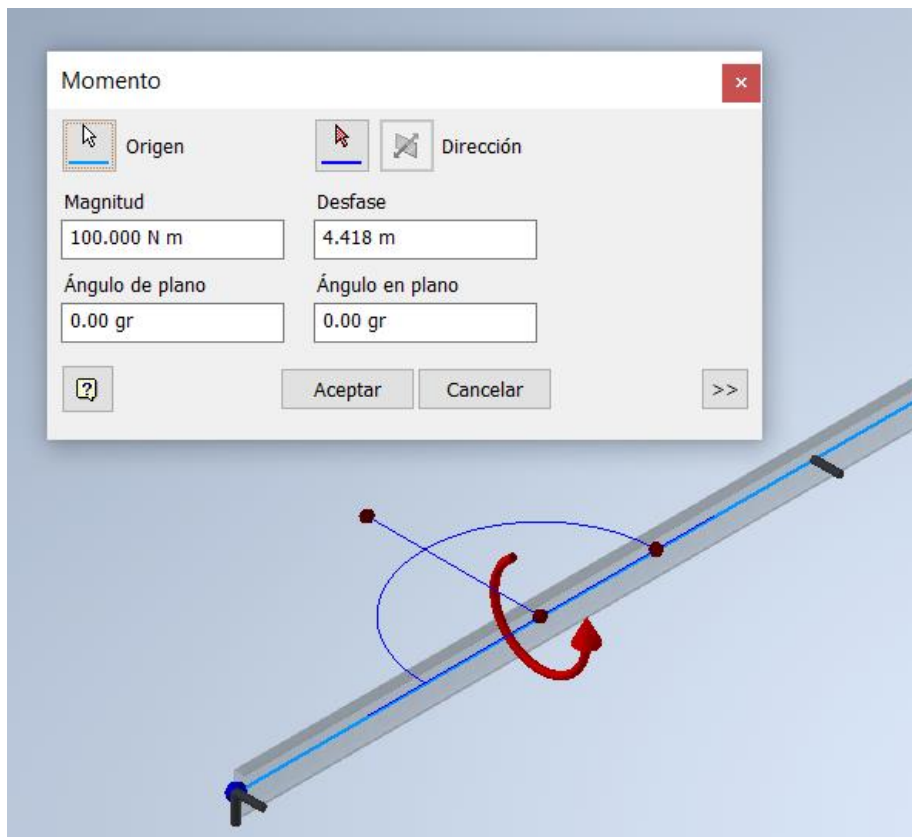


**Figura 2.16.** Carga fuerza.





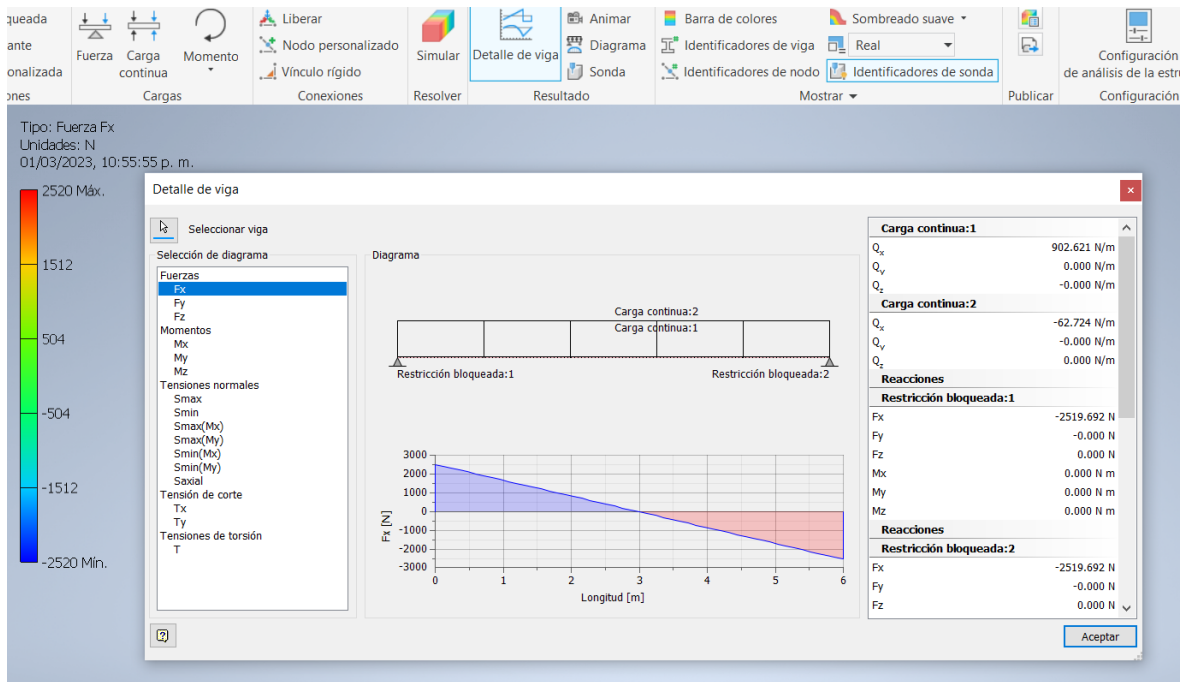
**Figura 2.17.** Carga continua



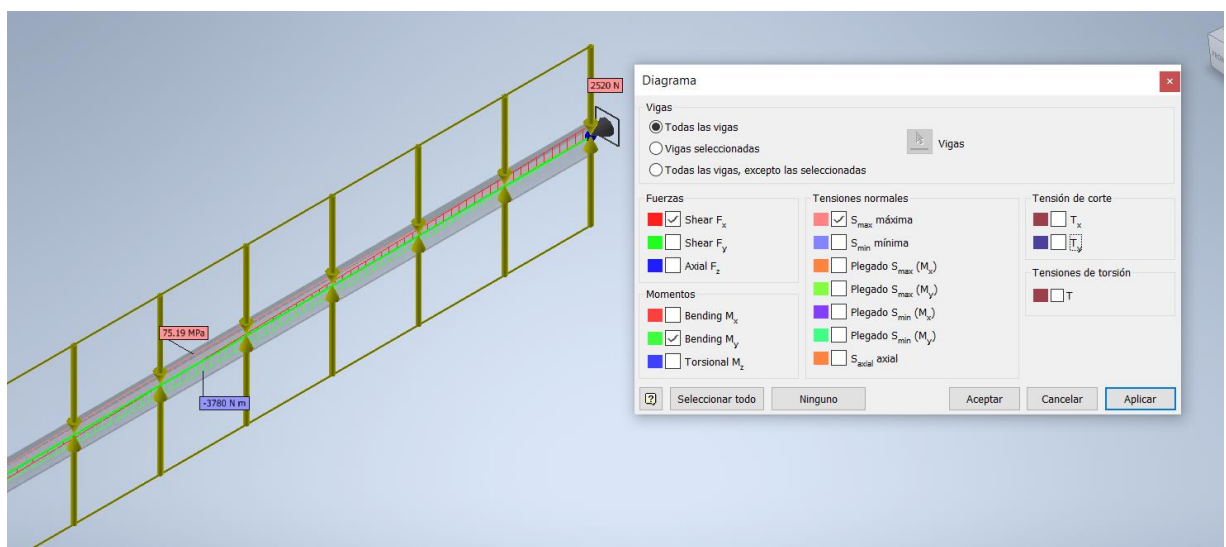
**Figura 2.18.** Carga de momento.

(e) Cuando se definen las cargas que van a actuar sobre el elemento se procede a simularlo.

(f) La visualización de resultados se los puede presentar de dos maneras tal cual lo muestra las figuras 2.19 y 2.20. también se puede animar el movimiento de cómo se deforma el elemento para un mejor entendimiento de cómo actúa la carga sobre este.



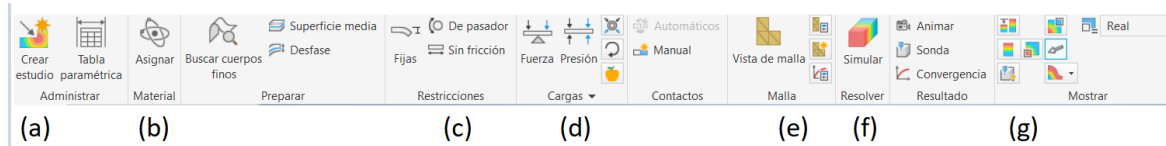
**Figura 2.19.** Diagramas obtenidos de Autodesk Inventor.



**Figura 2.20.** Diagramas obtenidos visualizados en el elemento analizado.

## Análisis de tensiones

La otra herramienta para realizar el análisis por medio de simulación es la “análisis de tensiones”, que nos permite obtener valores de esfuerzos de Von mises, coeficientes de seguridad, desplazamientos, primera tensión principal y tercera tensión principal.



**Figura 2.21.** Herramientas para el análisis de tensiones.

Donde:

(a) Permite crear la simulación y darle un título.

(b) La herramienta “Asignar” nos permite insertar un material al elemento que se planea analizar de ser necesario.

(c) Las restricciones que no ofrece Autodesk Inventor como son fijas, de pasador y sin fricción, donde más se utilizará la primera restricción para las simulaciones del proyecto.

(d) El software Autodesk Inventor permite ingresar fuerzas puntuales, presión y momentos los cuales se deben ingresar con las unidades de N, MPa y N m, correspondientemente, y por defecto se ubican solo en la mitad del elemento por lo cual, si se quiere ingresar cargas distribuidas y cargas en diferentes puntos se debe de transformar en cargas puntuales y trasladarlas las otras fuerzas al punto medio del elemento para su posterior simulación.

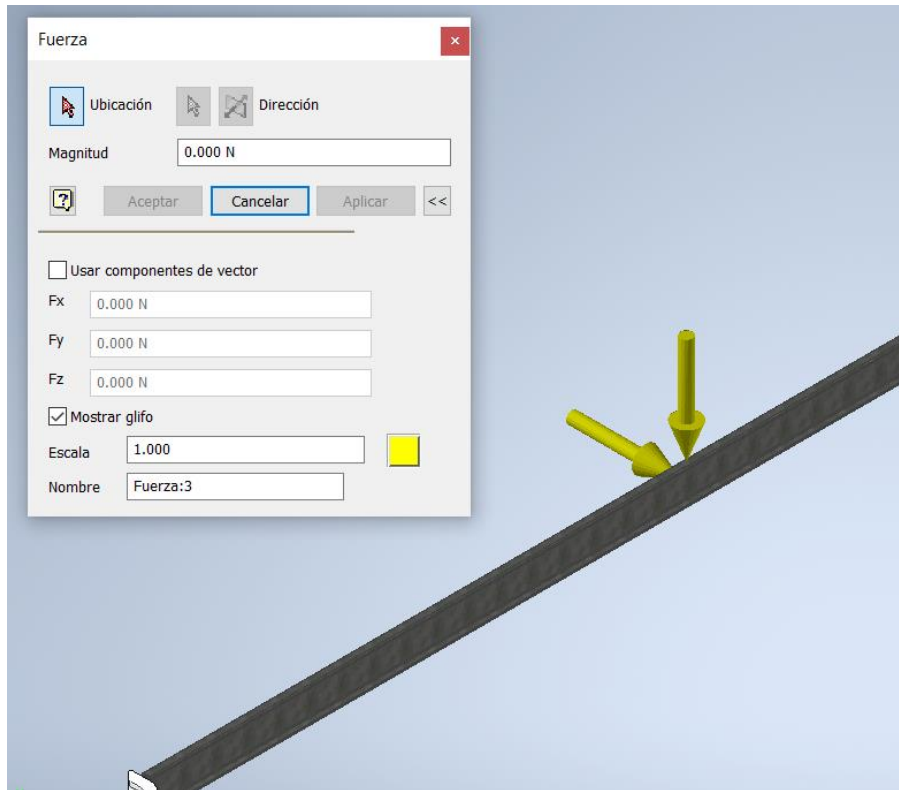
El ingreso de valores se lo muestra en las figuras 2.22, 2.23, 2.24.

(e) Generación de malla para el análisis de tensiones, se puede aplicar una escala más fina de ser necesario.

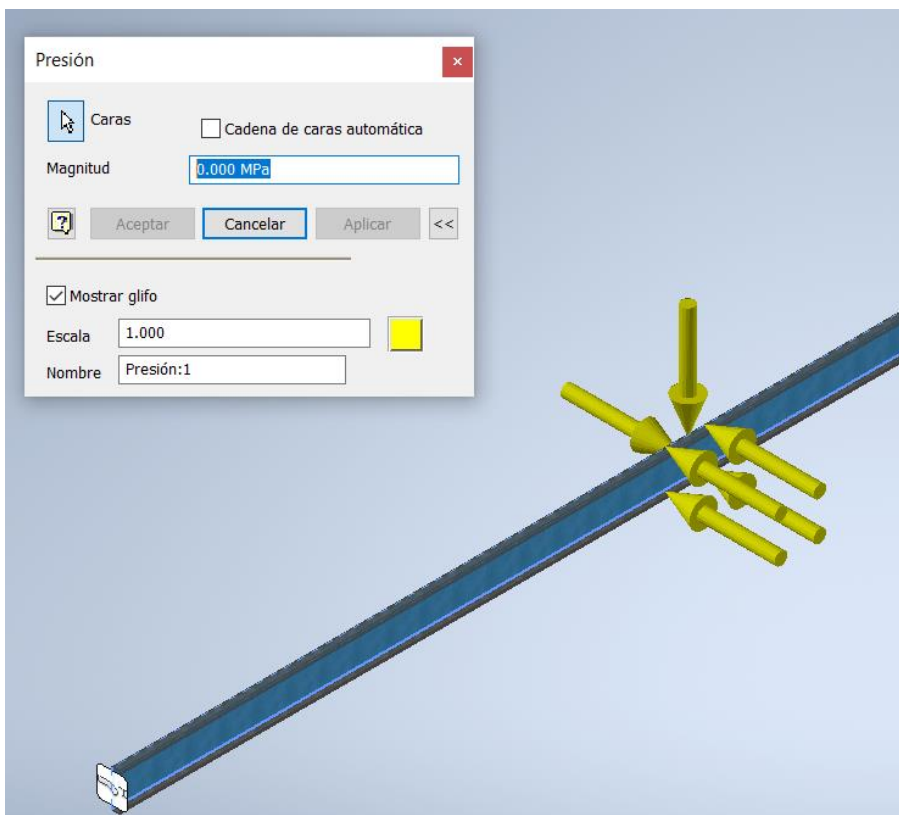
(f) Colocado todos los valores correspondientes a analizar se procede a realizar la simulación y obtener resultados.

(g) Para la visualización de resultados se lo presenta con una barra de colores además de proporcionarnos la opción de observar los valores máximos y mínimos de cada resultado.

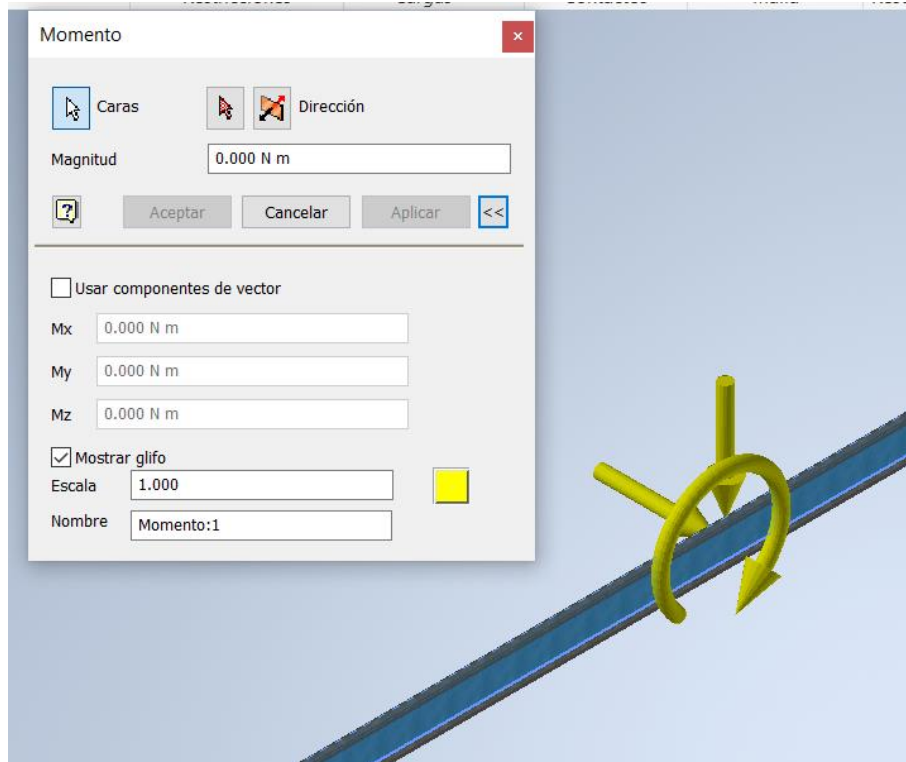
También se puede animar el movimiento de cómo se deforma el elemento para un mejor entendimiento de cómo actúa la carga sobre este.



**Figura 2.22.** Colocación de Fuerza.



**Figura 2.23.** Colocación de Presión.



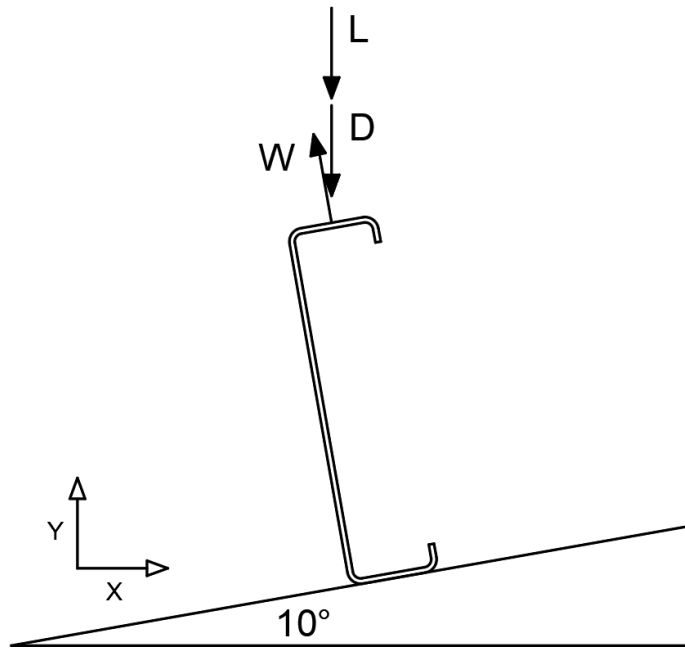
**Figura 2.24.** Colocación de Momento.

### 2.4.2 Modelado y simulación de correas

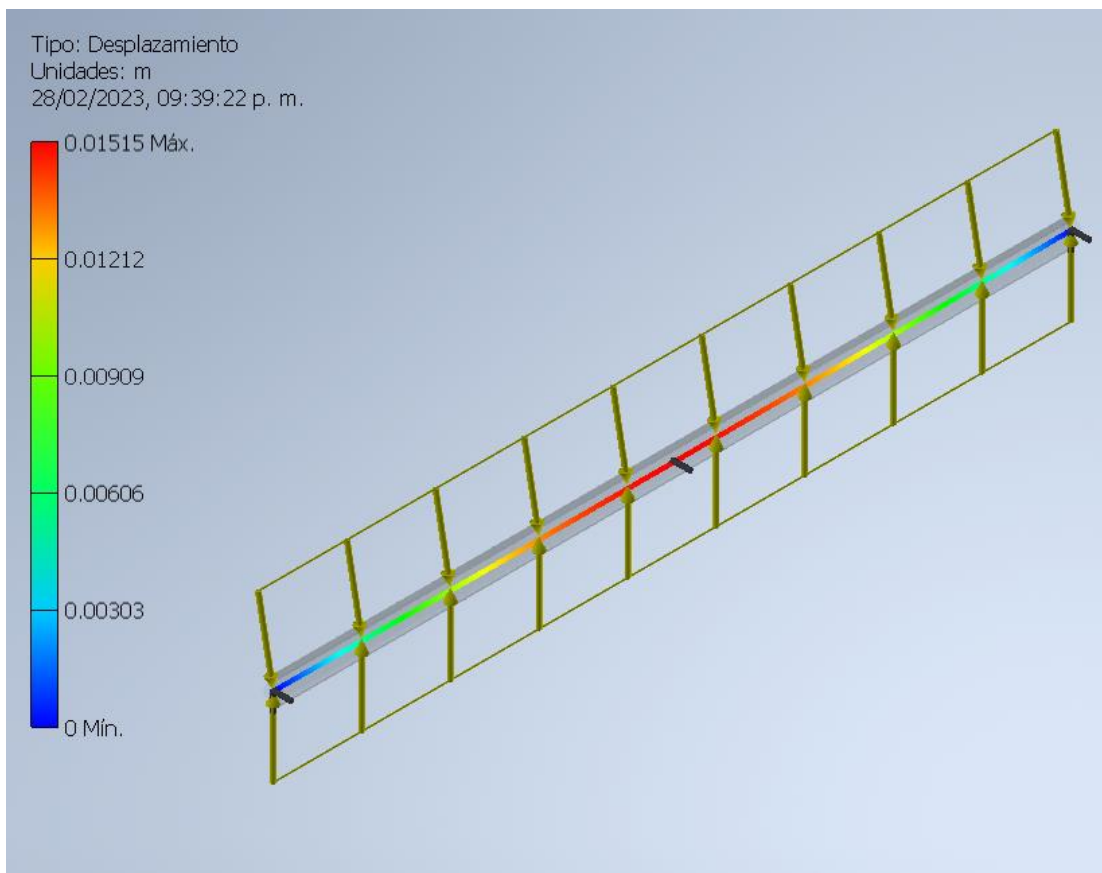
Para el diseño de correas se debe estimar las diferentes cargas que actúan sobre ella, además se le considera a la correa como una viga simplemente apoyada a los extremos y con un separador de correa en la mitad que se encarga de actuar como otro apoyo para flexión en el eje x.

En la figura 2.25 se observa como la carga viva definida por medio de la norma NEC de 840 [N/m] se coloca en sentido vertical y de igual manera la carga muerta considerando que solo existe la presencia de los pesos del Steel panel, la correa y se desprecia los pesos que puedan estimarse por accesorios como pernos autoperforantes debido a que son muy pequeños y no afectan significativamente los cálculos de la carga muerta, dando como resultado 139.287 [N/m],

La carga de viento que siempre se sitúa perpendicular a la correa con valor de 67.724 [N/m], definido estos valores se procede a ingresar al software de Autodesk Inventor, como lo muestra la figura 2.26, donde se identifica que la carga de viento se ubica perpendicular a la correa mientras la suma de la carga muerta y viva se colocan con la inclinación de 10° debido a que en el software no se puede colocar a la correa con la inclinación.

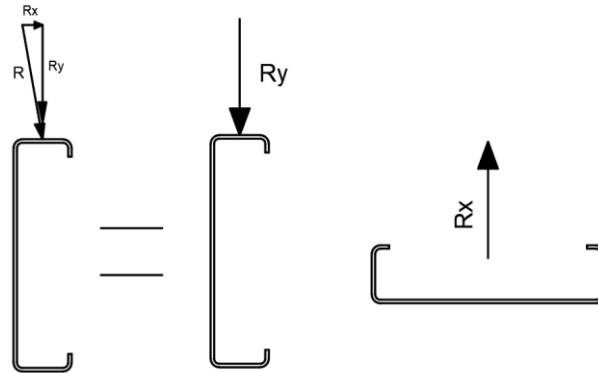


**Figura 2.25.** Carga muerta, viva y viento sobre la correa.

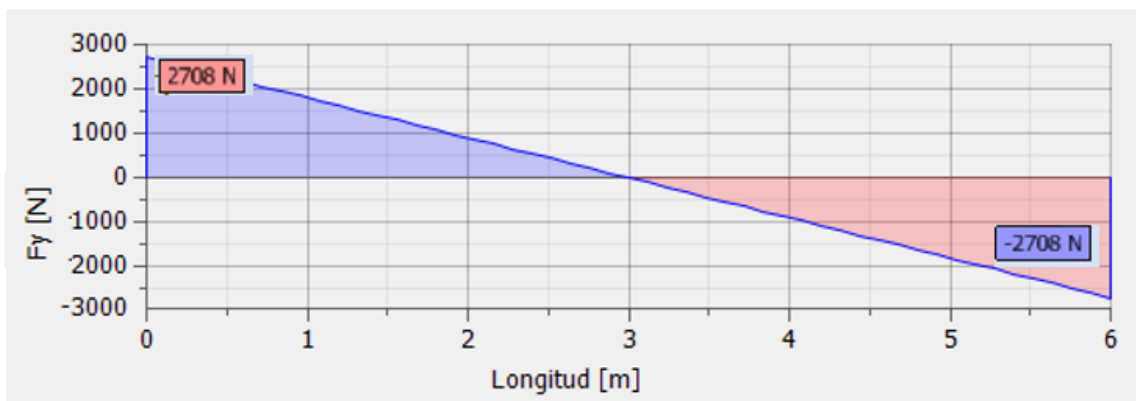


**Figura 2.26.** Cargas en Autodesk Inventor con análisis de estructura.

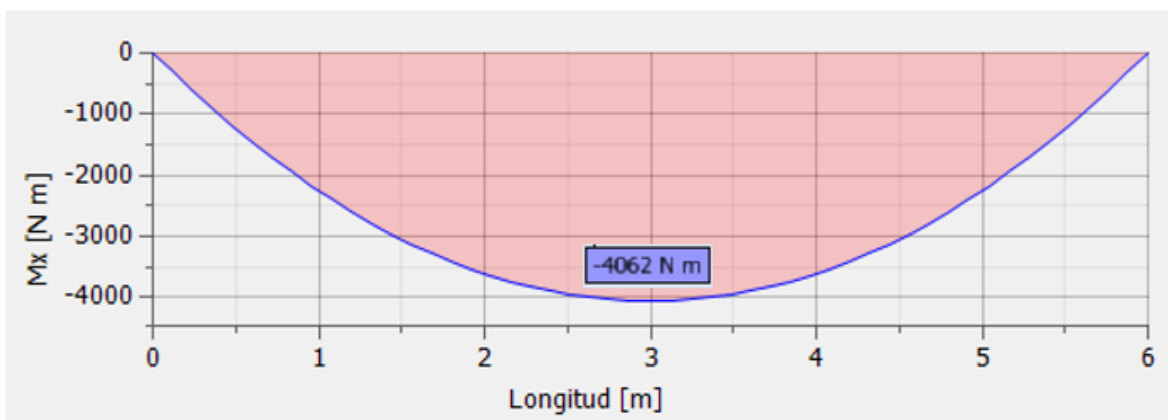
Para un mejor análisis de cómo la carga resultante ( $R$ ) actúan sobre la correa se procede a descomponerla en componentes vectoriales como se muestra en la figura 2.27, lo que permite analizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector en cada componente.



**Figura 2.27.** Descomposición de la carga resultante en la correa para  $R_y$  y  $R_x$ .



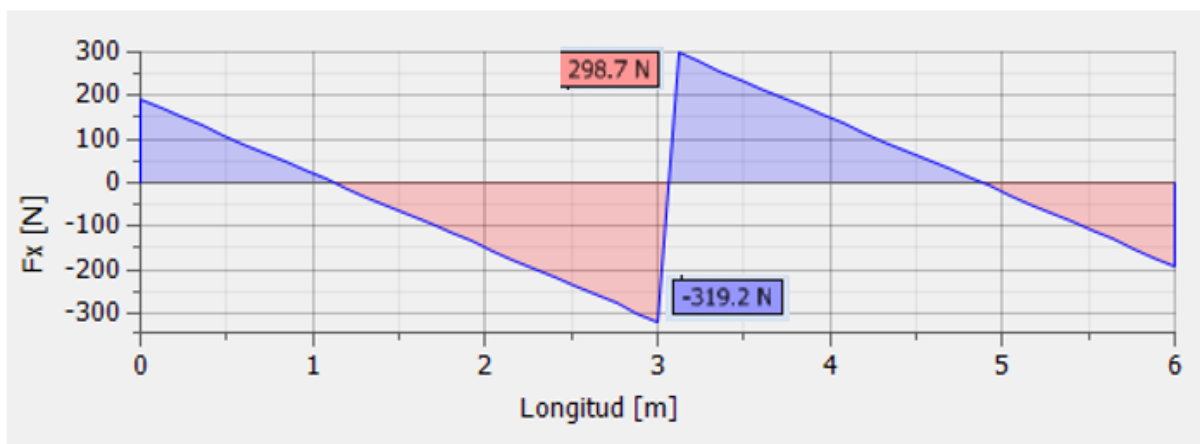
**Figura 2.28.** Diagrama de fuerza cortante en Y.



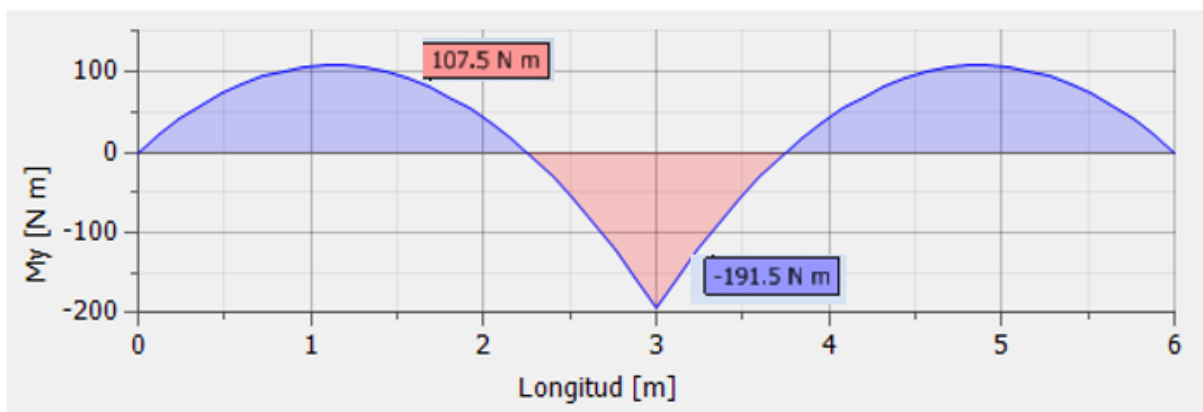
**Figura 2.29.** Diagrama de momento flector  $M_x$

Para el análisis de los momentos máximos requeridos se debe enfatizar que el momento que se produce debido a una carga como por ejemplo si se considera el eje y, en el plano yz, generara un momento alrededor del eje x por lo cual se presenta los resultados en ese sentido, como muestra la figura 2.29. En comparación si se analiza la carga en el eje x, la cual esta en el plano xz, genera un momento máximo alrededor del eje y como lo muestra la figura 2.31, considerando que este efecto se produce en todos los analices que se realizaran a continuación.

Para el caso de la componente en x se debe considerar que hay tres apoyos a lo largo de la correa por lo cual sus diagramas de fuerza cortante y momento flector obtendrán valores menores en comparación a los obtenidos en el componente en y.



**Figura 2.30.** Diagrama de fuerza cortante.

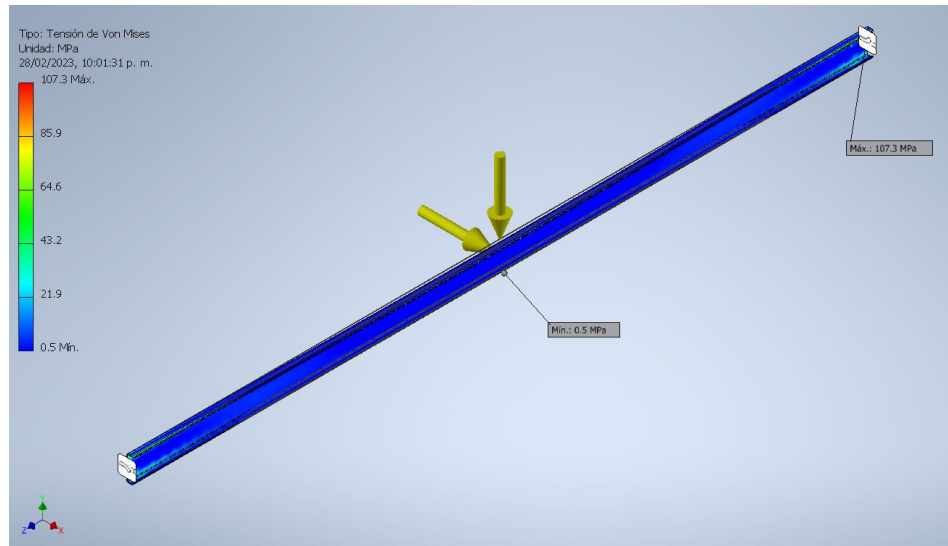


**Figura 2.31.** Diagrama de momento flector  $M_y$ .

El software Autodesk Inventor también permite realizar un análisis de tensiones sobre la correa para lo cual primero se debe convertir las cargas distribuidas en cargas puntuales para posterior aplicarlo sobre el elemento seleccionando la cara o arista donde actúa esta

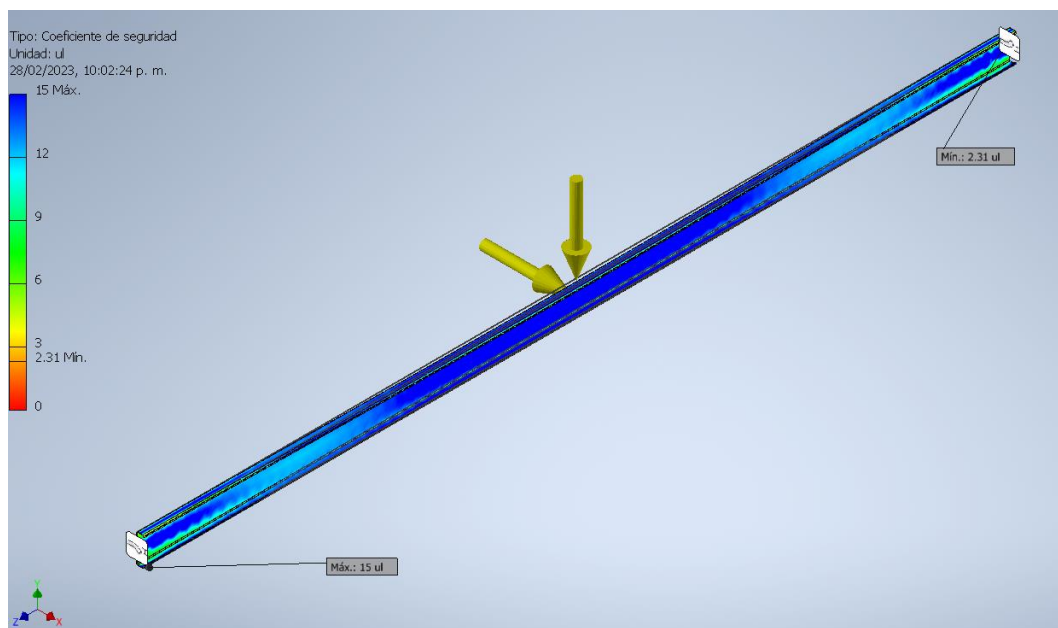


carga, como se muestra en la figura 2.32, además de proporcionar los esfuerzos de Von Mises junto con una paleta de color indicándonos que estos esfuerzos no superan al límite de fluencia del acero ASTM A-36 (250 MPa) dando como valido el diseño de la correa, igualmente el software nos identifica donde se encuentran ubicados los esfuerzos máximos y mínimos presentes en el elemento.



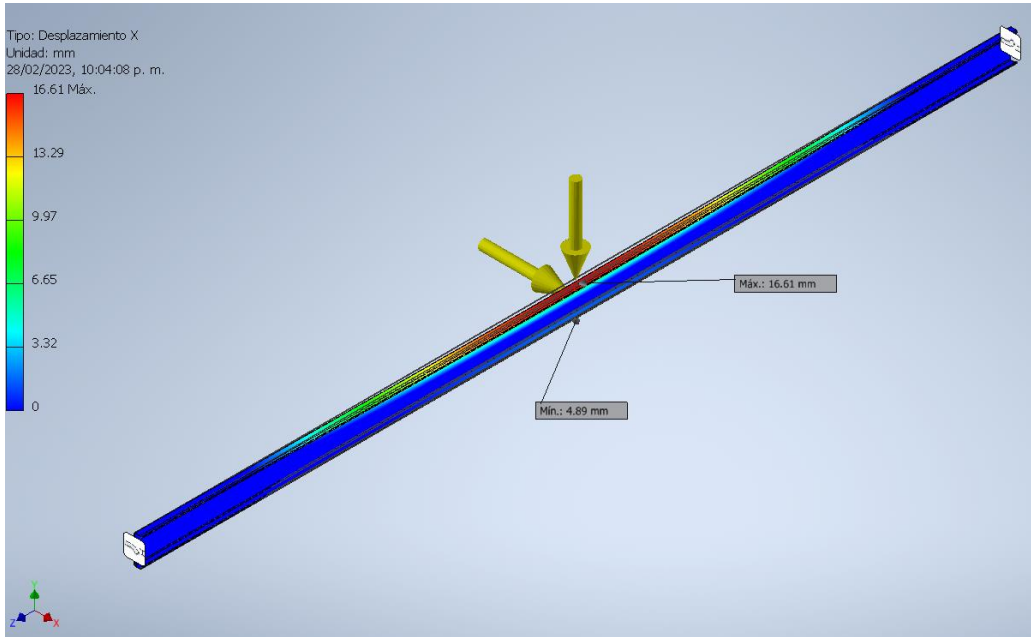
**Figura 2.32.** Esfuerzos de Von Mises en la correa con análisis de tensión.

La figura 2.33 presenta el coeficiente de seguridad que parte de un mínimo de 2.31 hasta un máximo de 15, lo cual indica que esta sobredimensionado el elemento y no se presentará un fallo inmediato.

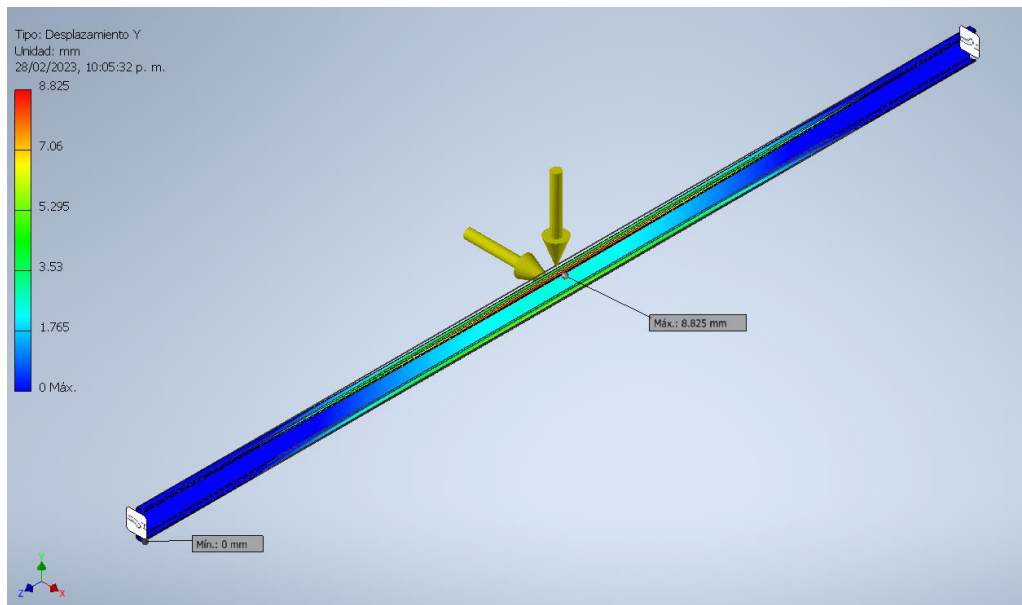


**Figura 2.33.** Coeficiente de seguridad en la correa con análisis de tensión.

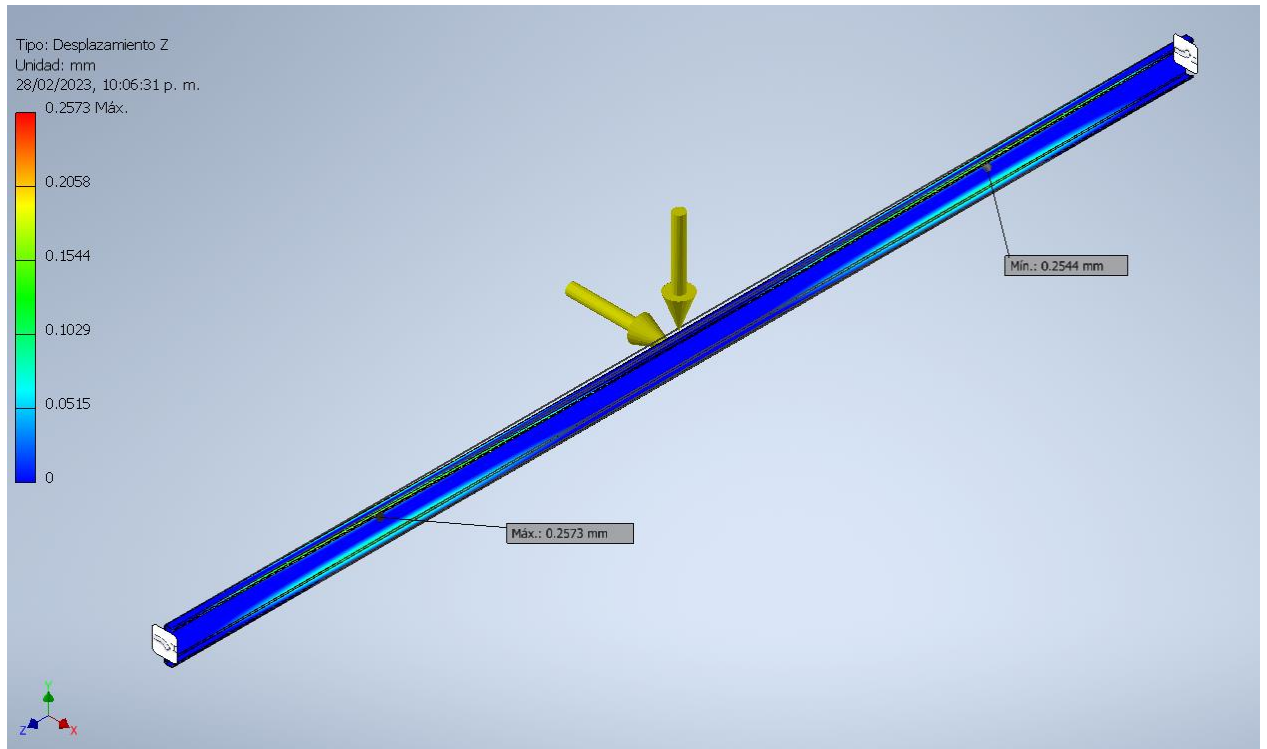
Dado que la correa se somete a cargas, experimentará cierta deformación. Las figuras 1.34, 1.35 y 1.36 muestran los valores máximos de desplazamiento en cada eje x, y, z. Es importante destacar que los valores de la componente z son muy bajos en comparación con los de las componentes x e y, por lo que se pueden considerar despreciables. Después de analizar los desplazamientos en los ejes x e y, se analiza que el desplazamiento en el eje x es mayor, especialmente en la parte superior de la correa, alcanzando un valor máximo de 16 [mm] Por otro lado, en el eje y el desplazamiento máximo es de solo 8 [mm].



**Figura 2.34.** Desplazamiento en X.



**Figura 2.35.** Desplazamiento en Y.



**Figura 2.36.** Desplazamientos en Z.

### 2.4.3 Modelado y simulación de viga-columna

En la figura 2.37 se analiza un sistema de viga-columna considerando que este sistema es el que soportara todo el peso de la estructura por lo cual se toma en cuenta las cargas que se presenta sobre ella como lo son las reacciones que obtuvimos en el diseño de las correas:

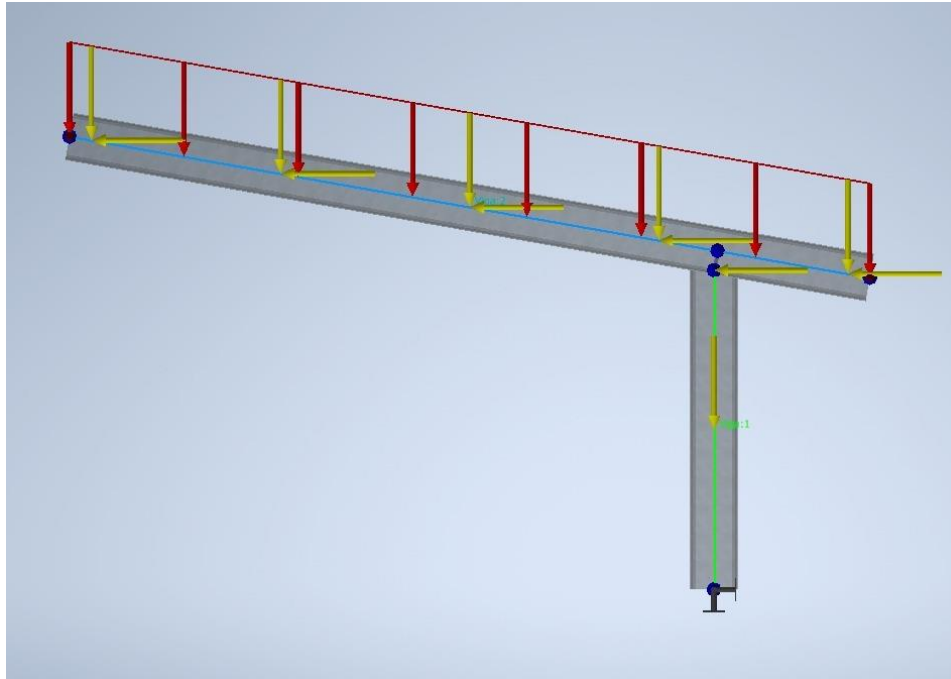
$$R_y = 2707.864 + 2707.864 = 5415.728 \text{ [N]}$$

$$R_x = 19.527 + 65.09 + 19.527 = 1021.3 \text{ [N]}$$

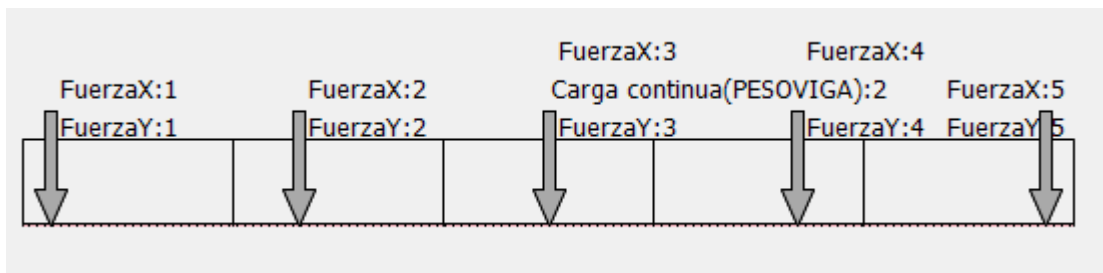
Carga distribuida que representa el peso de la viga  $W_v = 550 \text{ [N/m]}$ , una carga puntual que indica el peso de la columna  $W_c = 483.72 \text{ [N]}$  y por último la carga sísmica que actúa siempre sobre columnas en una dirección paralela al suelo  $E = 1021.3 \text{ N}$ .

En la figura 2.37 se puede observar cómo se colocan las cargas sobre el sistema de viga-columna, descrito anteriormente. El software Autodesk Inventor considera las inclinaciones presentes en la viga y descompone los resultados en fuerzas en el sentido del eje y, fuerzas en el sentido del eje x la cual considera como carga axial y la manera de interpretar el ingreso de cargas se lo muestra en la figura 2.38, y de esta manera nos entrega como

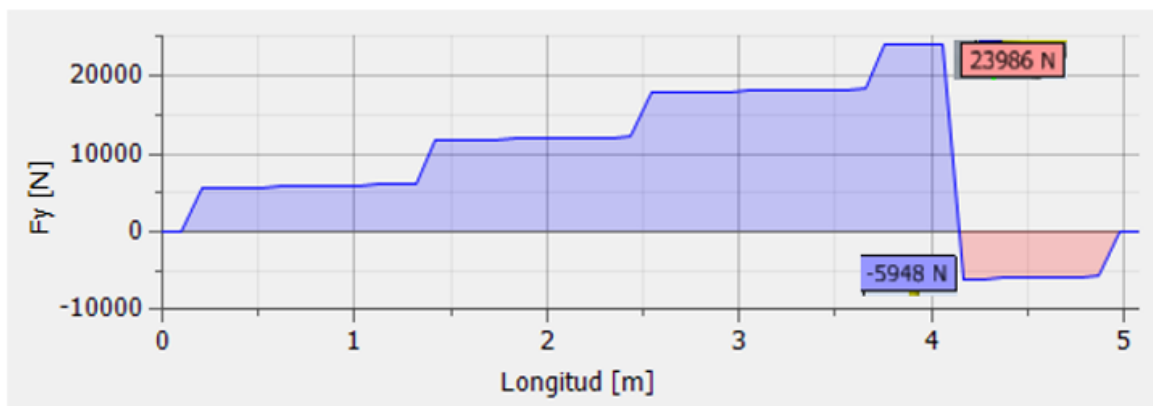
resultado las fuerzas cortantes y momentos flectores que actúan sobre el eje y la fuerza axial que existirá en el eje x, cómo se lo puede observar en las figuras 2.39, 2.40, 2.41.



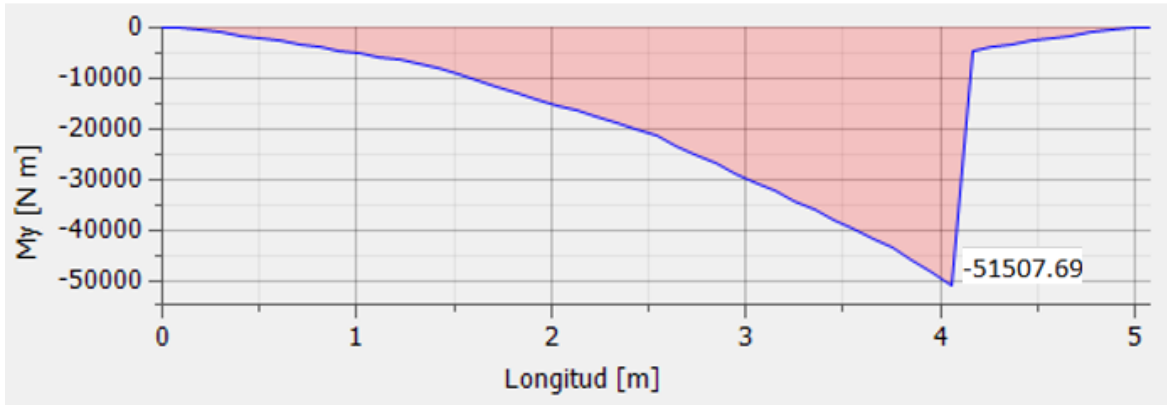
**Figura 2.37.** Cargas aplicadas en la viga y columna.



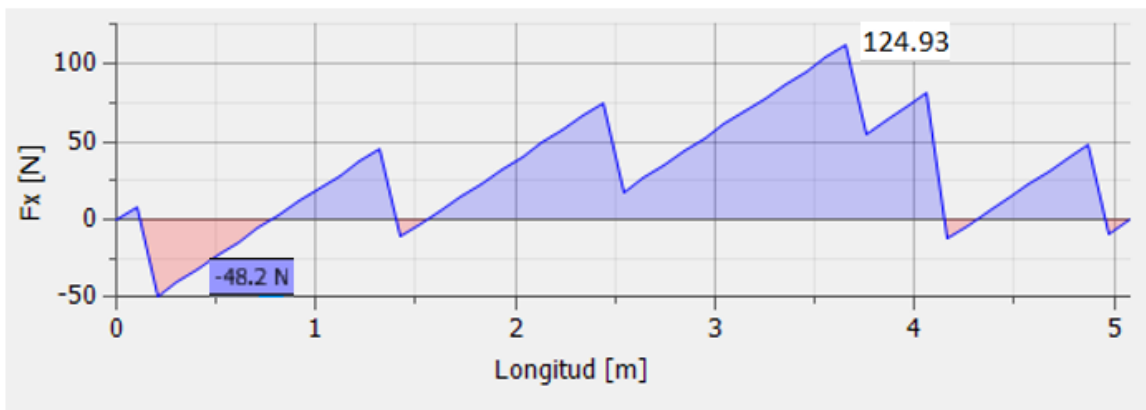
**Figura 2.38.** Fuerzas sobre la viga por Autodesk Inventor.



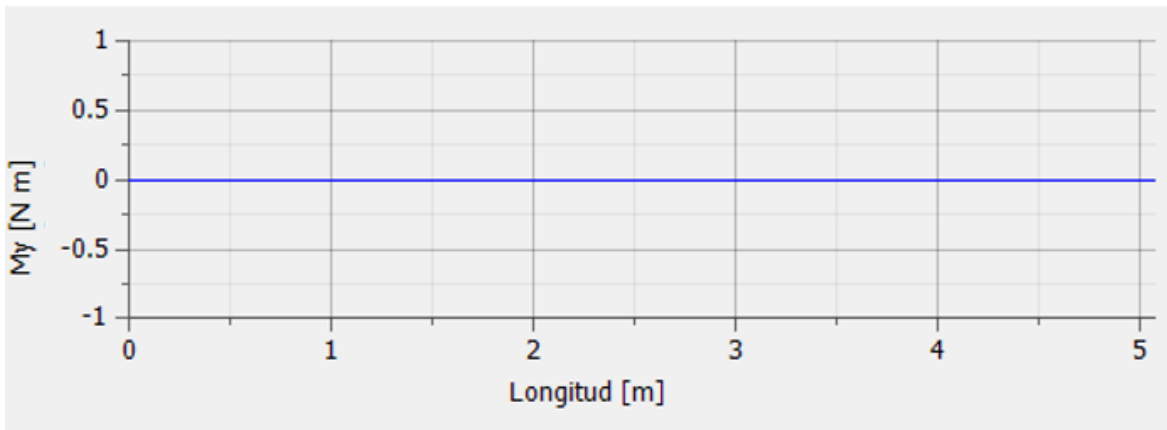
**Figura 2.39.** Diagrama de fuerza cortante en Y.



**Figura 2.40.** Diagrama de momento flector Mx.



**Figura 2.41.** Carga axial en la viga.

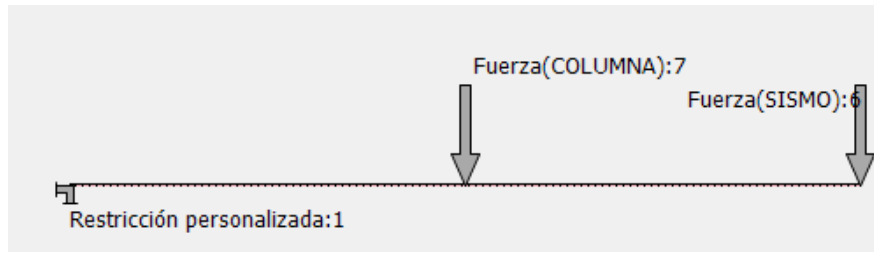


**Figura 2.42.** Diagrama de momento flector My.

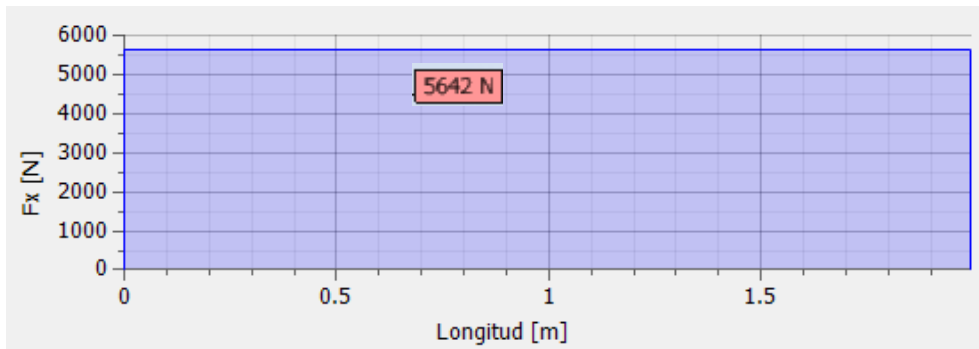
Para el análisis que se realiza en el componente A, solo es necesario obtener el momento máximo generado junto con la carga axial máxima que está presente en la viga.

A continuación se mostrará los resultados obtenidos para la columna, de igual manera Autodesk Inventor nos proporciona un diagrama de cómo está interpretando las fuerzas que están actuando sobre ella como se observa en la figura 2.43, junto con los diagramas

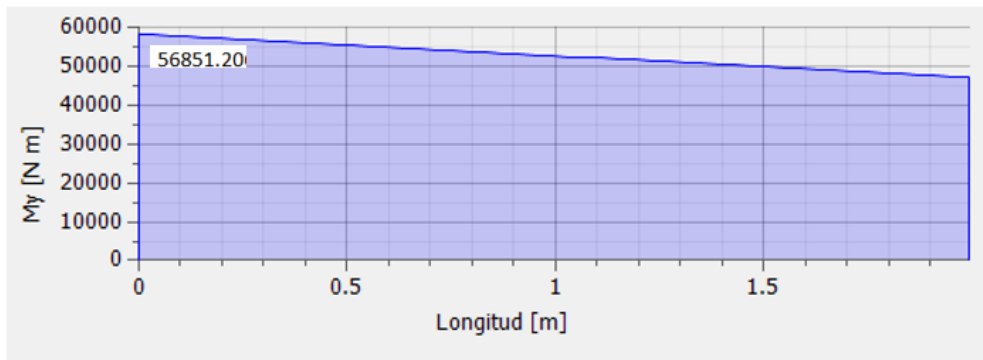
de fuerza cortante y momento flector sobre el eje x presentes en la figura 2.44 y 2.45, por otra parte la carga axial se situa en el sentido del eje y y como lo muestra la figura 2.46.



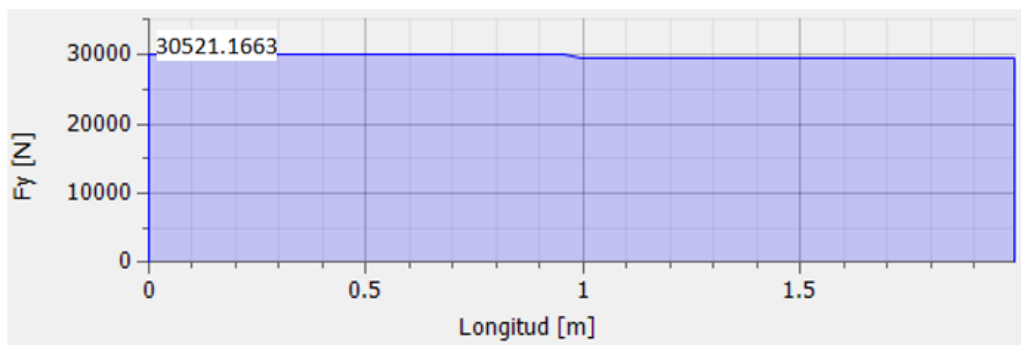
**Figura 2.43.** Fuerzas sobre la columna por Autodesk Inventor.



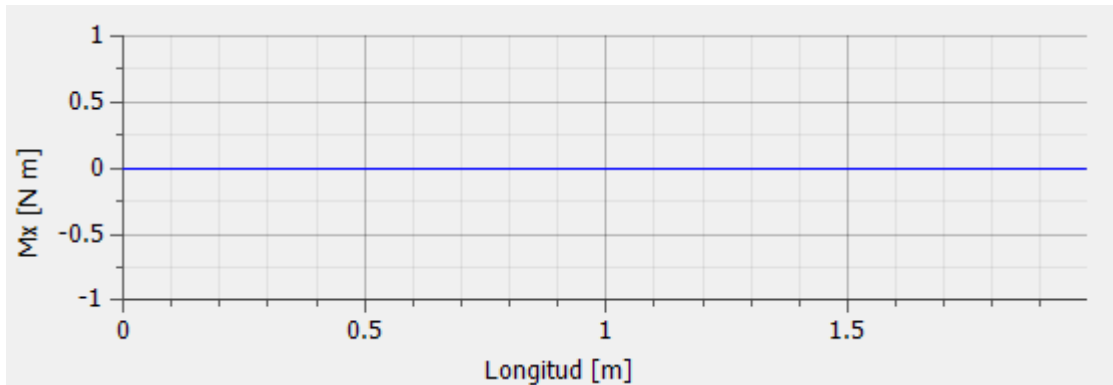
**Figura 2.44.** Diagrama de fuerza cortante en X.



**Figura 2.45.** Diagrama de momento flector  $M_y$ .



**Figura 2.46.** Carga axial en la columna.



**Figura 2.47.** Diagrama de momento flector Mx.

En el análisis de la columna solo las cargas máximas de momento flector y la máxima carga axial se prioriza para los siguientes cálculos.

Para el análisis de tensiones que nos proporciona el software Autodesk Inventor es necesario transformar las cargas que actúan sobre la viga y la columna en cargas puntuales ubicadas en la mitad de la viga, esto se lo debe realizar debido que el software solo interpreta este tipo de cargas y por defecto las ubica en la mitad. Por esta razón, se considera:

Carga muerta que actúa verticalmente sobre la viga, como el peso de las correas, el peso de los separadores de correa, el peso de la viga, el peso del Steel panel, de tal manera que se puede usar los valores obtenidos en la tabla 2.10.

$$Wd = 355.61 + 256.23 + 971.19 + 347.27 = 1930.3 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Como carga puntual para la mitad de la viga que tiene por longitud 5.077 [m].

$$Wd = 1930.3 \times \frac{5.077}{2} = 4900.07 [N]$$

Carga viva

$$Wl = 840 \times \frac{5.077}{2} = 2123.34 [N]$$

La carga de viento se encuentra perpendicular a la superficie de las correas por lo cual se debe considerar las componentes de esta carga de tal manera que se la obtiene:

$$Wwx = 63.123 \times \text{sen}(10^\circ) = 10.96 \times \frac{5.077}{2} = 27.82 [N]$$

$$Wwxy = 63.123 \times \text{cos}(10^\circ) = 62.2 \times \frac{5.077}{2} = 157.80 [N]$$

Una vez determinado todas las cargas de manera que son puntuales se procede hacer una sumatoria de fuerzas y los resultados obtenidos se los colocara en el software:

$$Wtx = 27.82 [N]$$

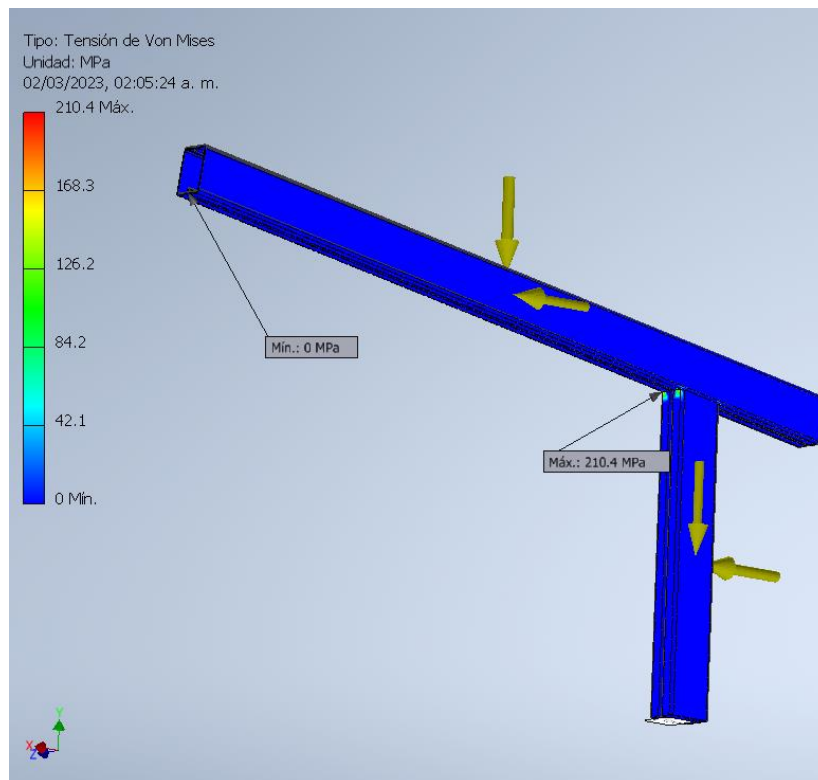
$$Wty = 4900.07 + 2123.34 - 157.80 = 7181.21 [N]$$

Con respecto a las cargas q actúan sobre la columna se tiene el peso de la columna y la carga sísmica:

$$Wcl = 24.75 \times 9.806 \times 2 \times \frac{1.993}{2} = 483.72 [N]$$

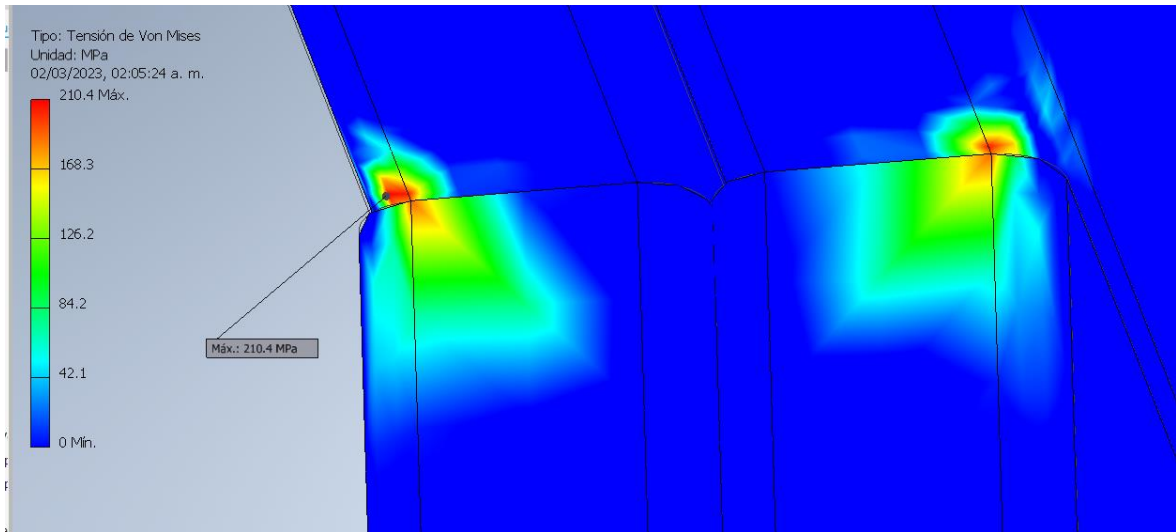
$$E = 358.54 \times \frac{1.993}{2} = 357.28 [N]$$

Como se observa en la figura 2.48 las cargas se ubican en el punto medio tanto de la viga como de la columna, también se analiza que los esfuerzo de Von mises, están próximos al límite de resistencia del acero ASTM A36 y hay una gran concentración de esfuerzos en los puntos de conexión de la viga y la columna, lo cual es normal debido a la forma de voladizo que presenta la estructura, presenta un valor máximo de esfuerzo de 210 MPa como se muestra en la figura 2.49.



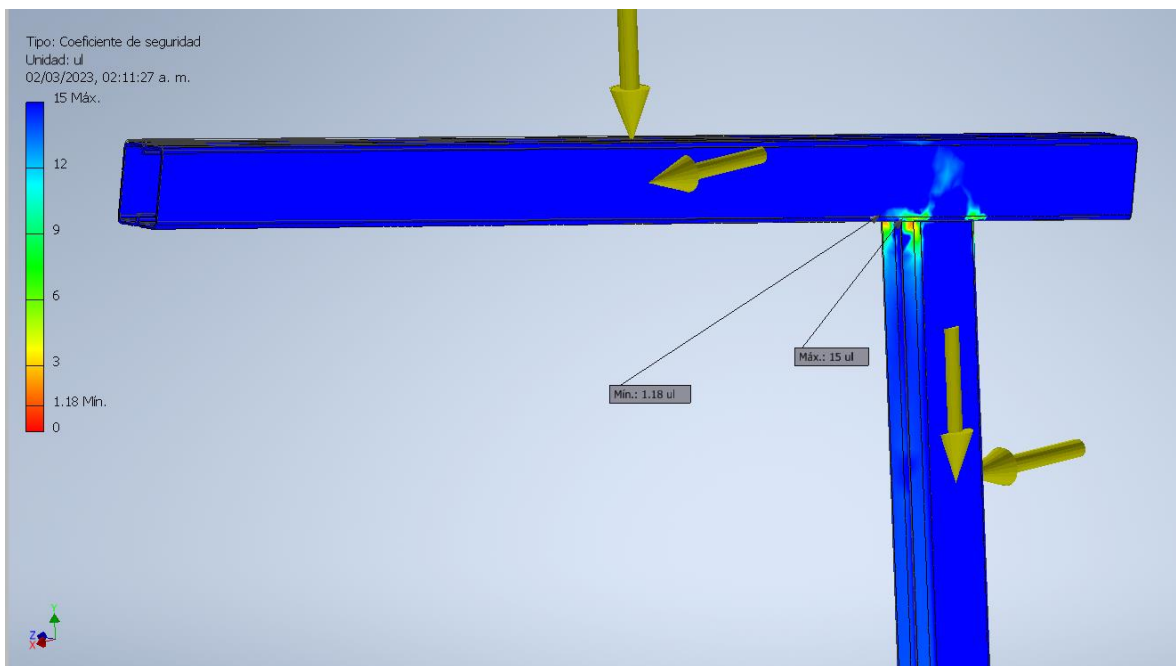
**Figura 2.48.** Esfuerzos de Von Mises en el sistema viga-columna.





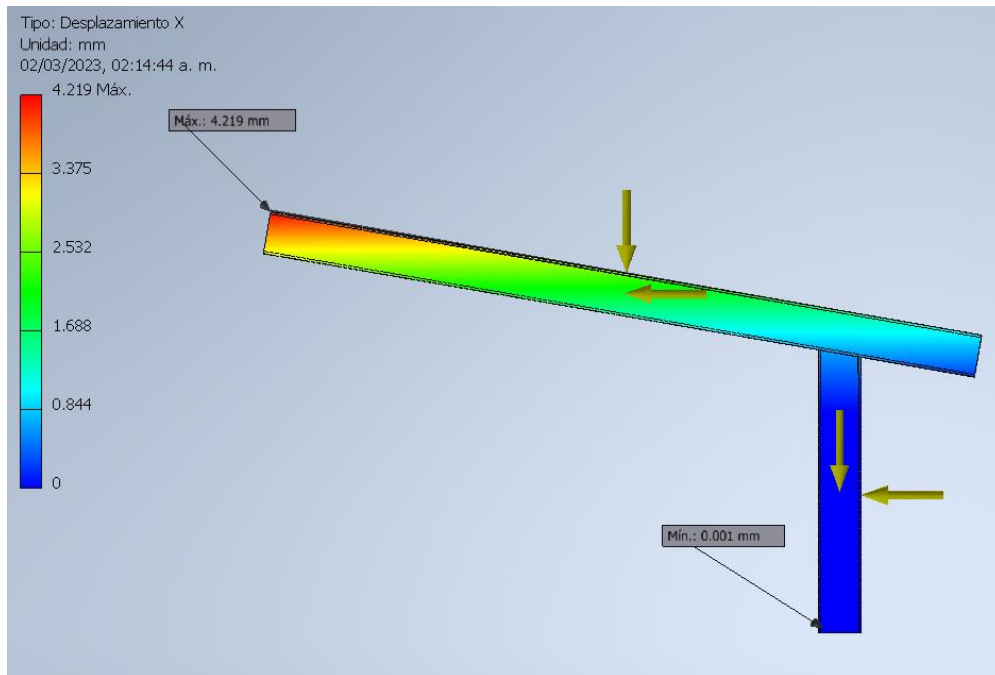
**Figura 2.49.** Esfuerzo máximo Von Mises.

En la figura 2.50 se analiza los coeficientes de seguridad que presenta el sistema viga-columna dando como resultados coeficientes de seguridad próximos a 1 debido a que se presentan esfuerzos cercanos al límite de resistencia del acero ASTM A36, por lo cual se debe considerar la colocación de soldadura en esa conexión, cabe recalcar que el software no analiza soldadura en este tipo de análisis por lo cual se podría reducir esos esfuerzos y tener un mayor coeficiente de seguridad con la soldadura alrededor del perfil con la base de la viga.

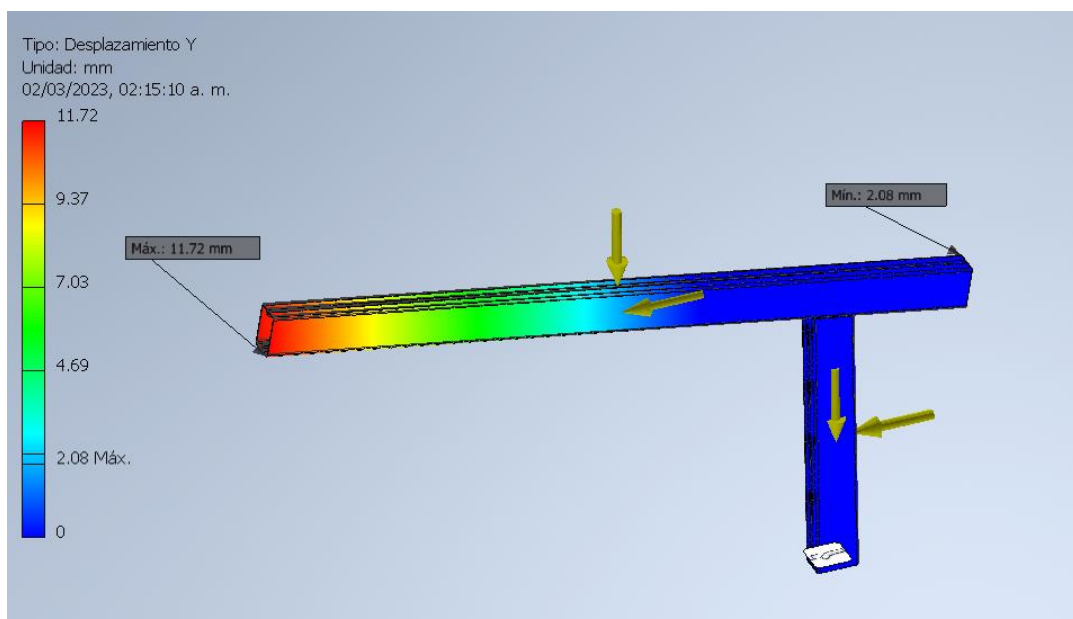


**Figura 2.50.** Coeficiente de seguridad en el sistema viga-columna.

En la figura 2.51 se presenta los desplazamientos en el eje x se puede observar que en la punta izquierda del sistema viga-columna es donde se presentará su mayor desplazamiento debido a la forma en voladizo que posee, en la figura 2.52 de igual manera presenta valores con mayor desplazamiento en la misma zona que se mencionó con el eje x, entendiendo que en el eje y se colocan directamente las cargas verticales y por lo tanto existen estos valores desplazamientos.

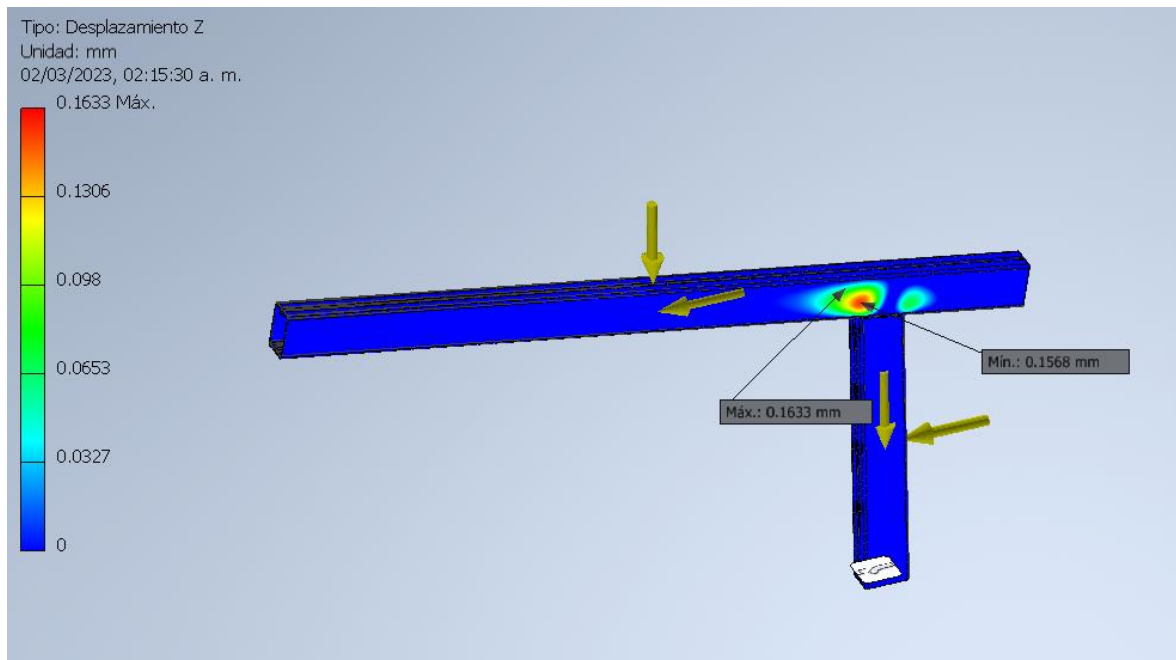


**Figura 2.51.** Desplazamiento en X.



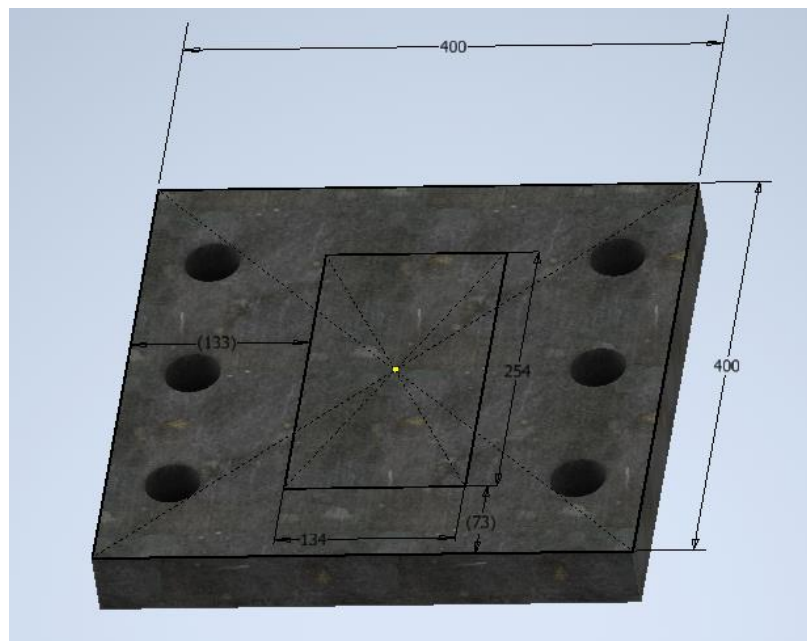
**Figura 2.52.** Desplazamiento en Y.

En la figura 2.38 se examina la existencia de desplazamientos en el eje z pero de igual manera son valores bajos por lo cual pueden ser despreciables para el análisis.



**Figura 2.53.** Desplazamiento en z.

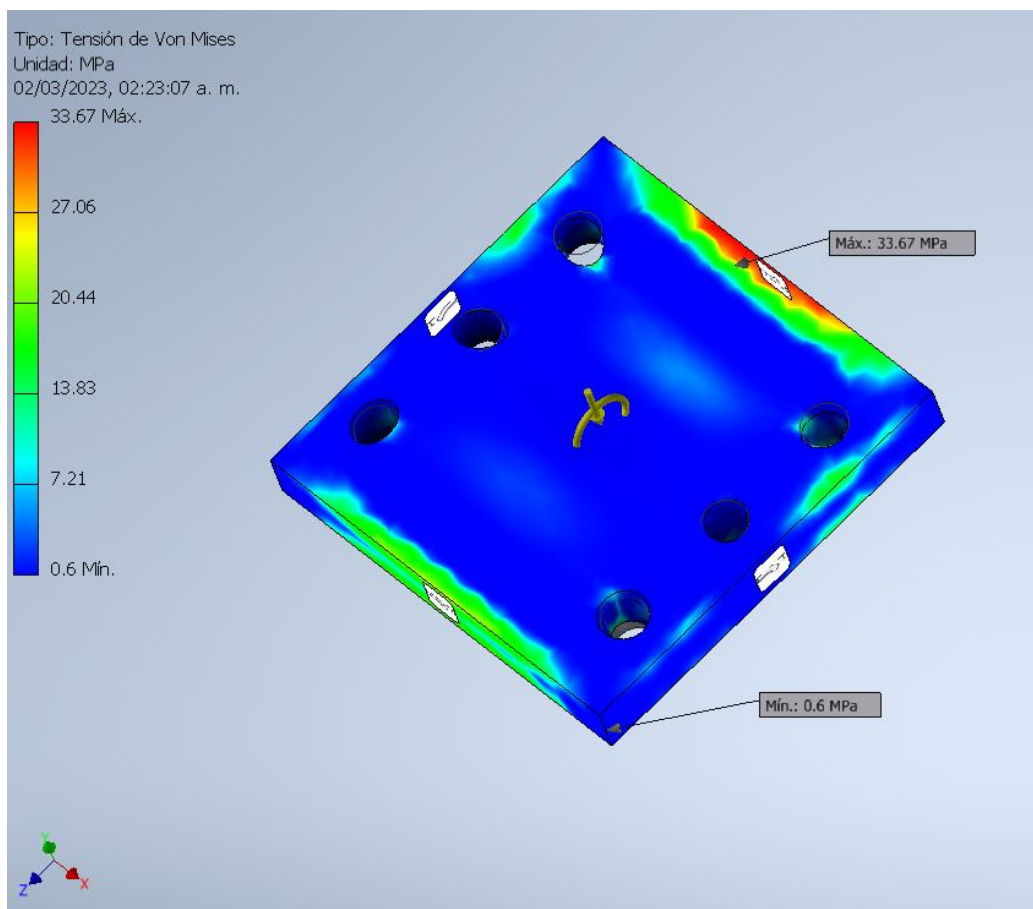
#### 2.4.4 Modelado y simulación de placa base



**Figura 2.54.** Dimensiones de la placa base.

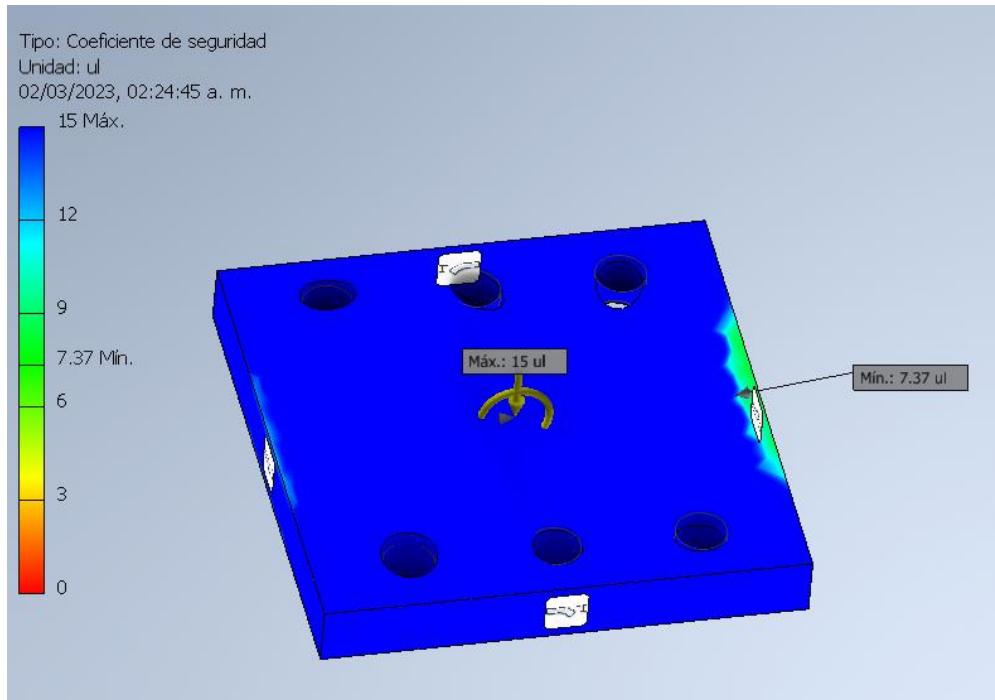
Para el análisis de la placa base se toma como referencia las dimensiones que se calcularon en el componente A, para posterior modelar y simular en el software Autodesk Inventor, considerando que las fuerzas que actúan sobre la placa son las obtenidas del

diseño de viga-columna, principalmente la carga axial que está aplicada sobre la columna y el momento flector máximo, con estos dos valores definidos se procede a ingresarlos en el análisis de tensiones del software para obtener los esfuerzos de Von Mises cómo lo muestra la figura 2.55, se observa que los esfuerzos máximos estarán presentes en los extremos de la placa base y al comparar los valores máximos y mínimos se refleja que no hay una gran diferencia entre ellos cómo se ha venido analizando con el resto de elementos que conforman la estructura metálica y al relacionar estos valores con el límite de fluencia del acero ASTM A-36 se denota que nunca llegará a sobrepasar este esfuerzo de fluencia dando como resultado una placa base ideal para soportar toda la estructura metálica de cubierta en voladizo.



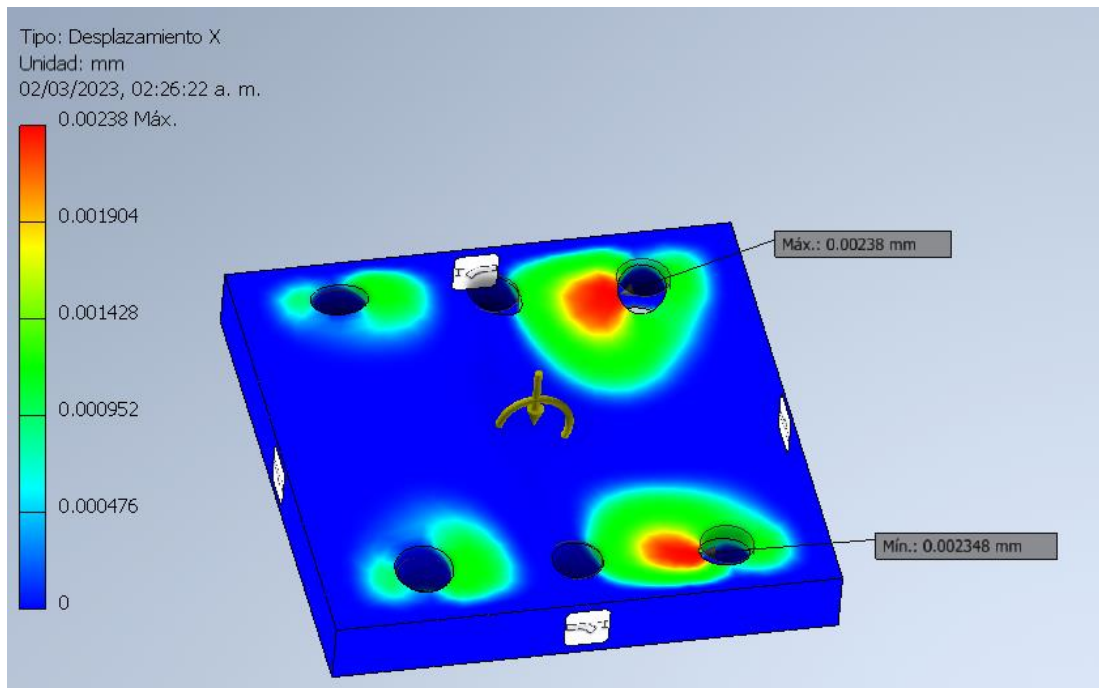
**Figura 2.55.** Esfuerzo de Von Mises en la placa base.

Dado que los esfuerzos Von Mises no alcanzan valores muy altos, los coeficientes de seguridad comienzan con un valor elevado, tal como se puede observar en la figura 2.56. El coeficiente mínimo, que se encuentra en los extremos de la placa, es de 7.37, mientras que el coeficiente general en la placa aumenta hasta un máximo de 15, lo que indica que el diseño es óptimo y muy seguro.

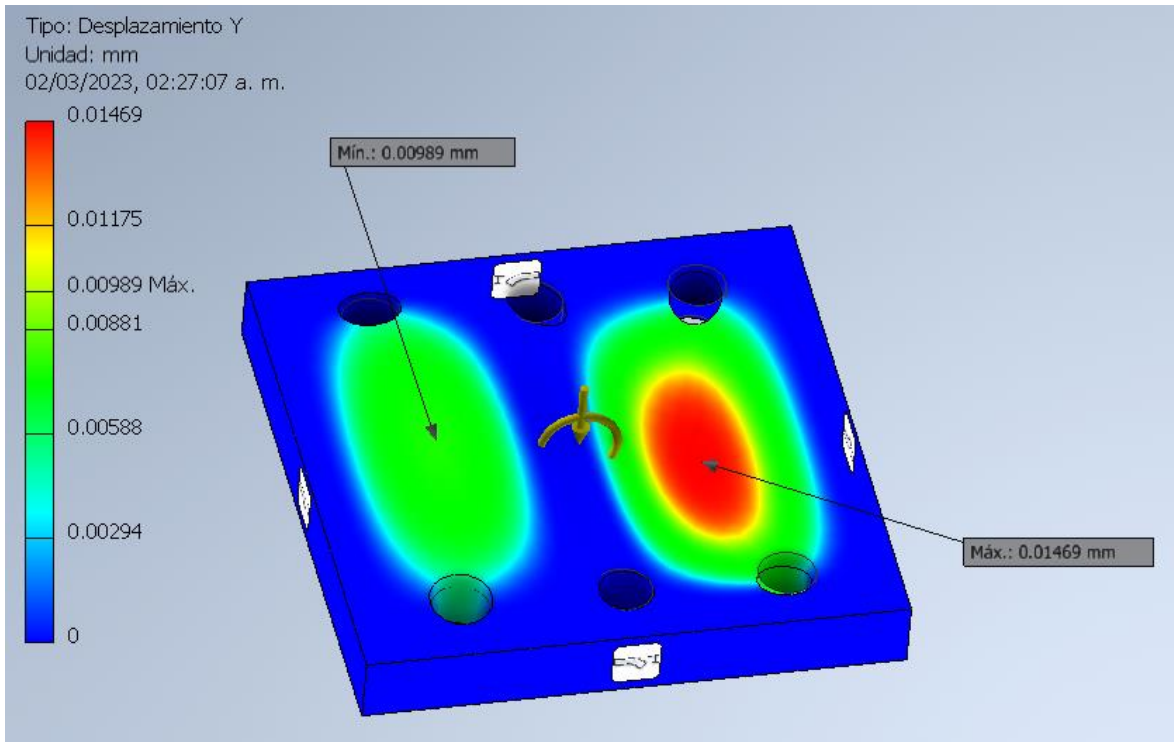


**Figura 2.56.** Coeficiente de seguridad de la placa base.

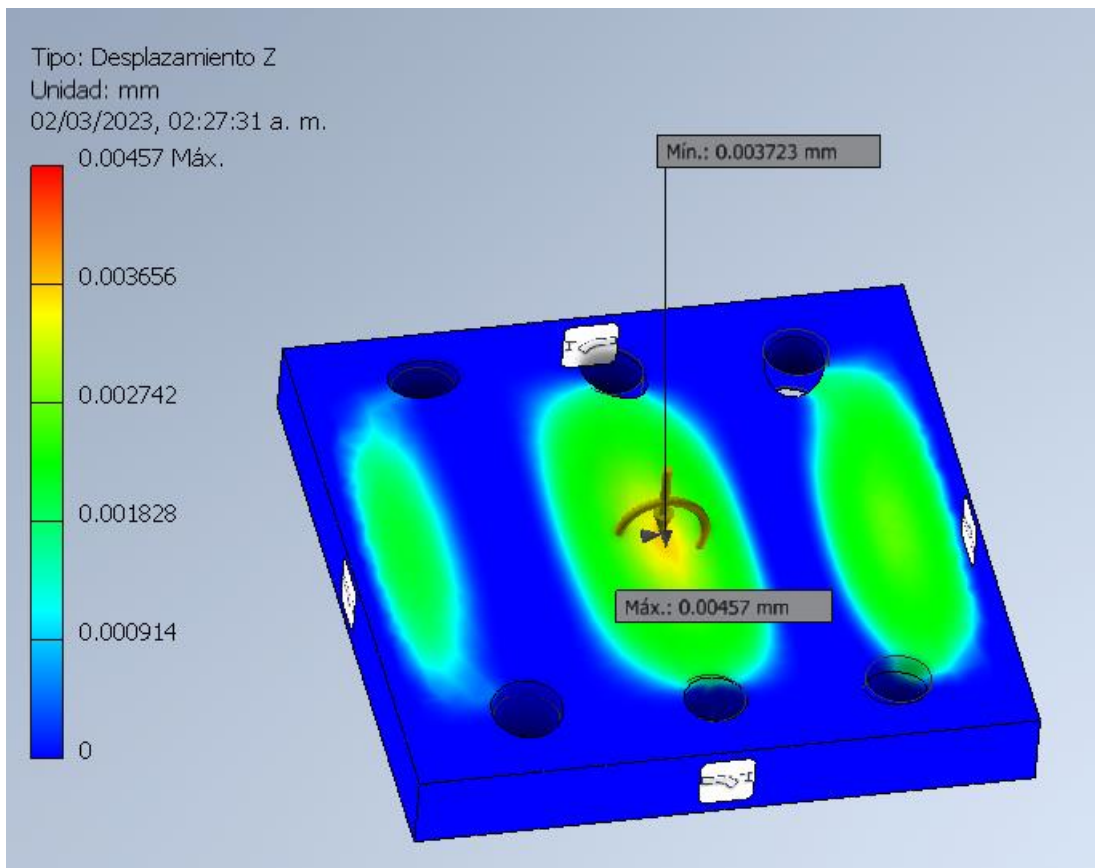
En las figuras 2.57, 2.58, 2.59, se muestran los desplazamientos en los ejes x, y, z dando como resultado valores demasiado pequeños tanto para valores mínimos como máximos por lo cual estos desplazamientos se los pueden considerar despreciables en el análisis de las deformaciones que se suscitan en la placa base.



**Figura 2.57.** Desplazamiento en X.



**Figura 2.58.** Desplazamiento en Y.

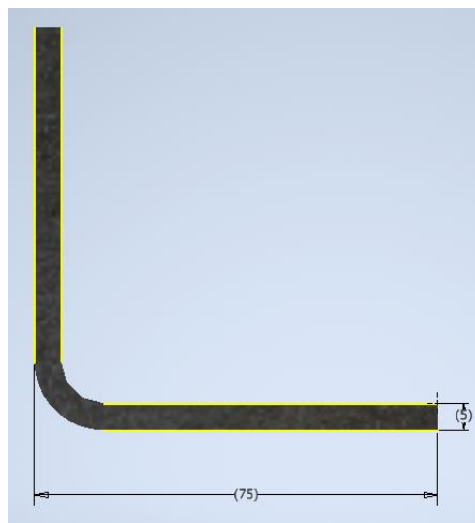


**Figura 2.59.** Desplazamiento en Z.

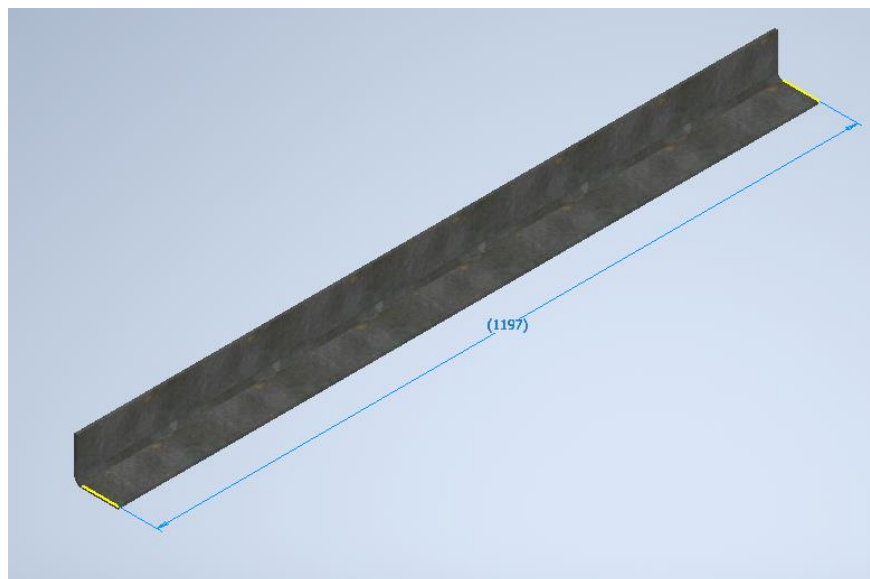


### 2.4.5 Modelamiento del separador de correas y separador de columnas

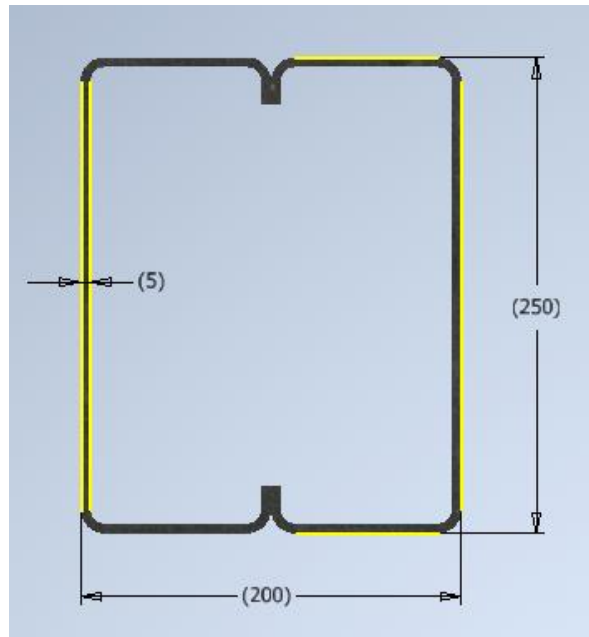
En el diseño de los separadores de correas y separadores de columnas se debe considerar que estos elementos solo están bajo cargas de tensión, por lo cual la única condición de su diseño es analizar la esbeltez, cuyo cálculo fue realizado en el componente A, por lo tanto, sólo se procede a modelar el elemento considerando que para los separadores de correas se utiliza un perfil angular de 75 x 5 [mm] y con una longitud de 1197 [mm] el cuál es separación que hay entre correas como se observa en la figuras 2.60 y 2.61 para el separador de columnas se utilizó un perfil tipo cajón formado por dos perfiles G de 250x100x25x5 y una longitud 5600 [mm] como se examina en las figuras 2.62 y 2.63.



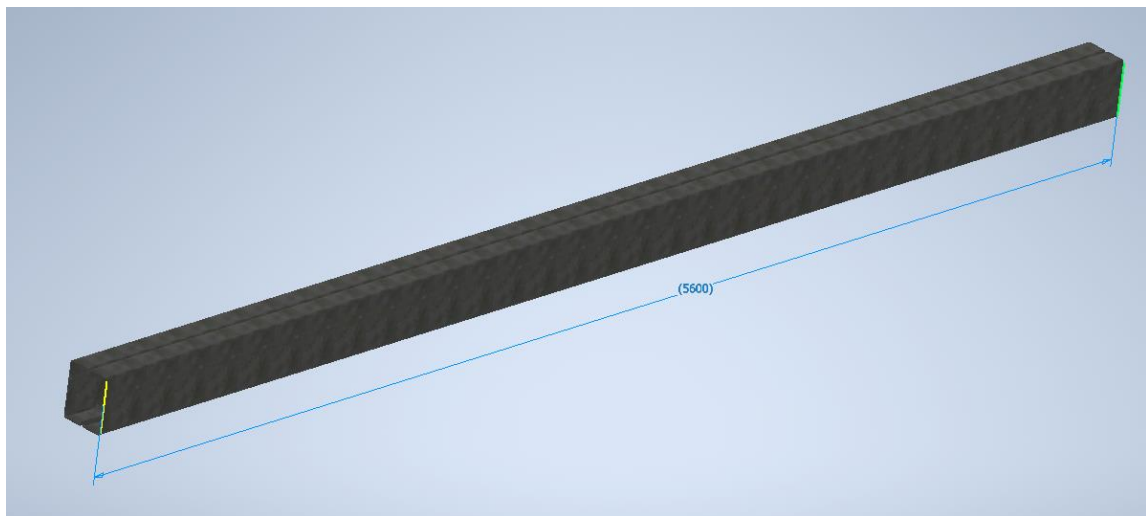
**Figura 2.60.** Dimensiones del separador de correas.



**Figura 2.61.** Longitud del separador de correas.



**Figura 2.62.** Dimensiones del separador de columna



**Figura 2.63.** Longitud del separador de columnas.

## 2.5 Consideraciones de soldadura.

Para el presente proyecto se estableció como objetivos principales el diseño, modelación simulación de una estructura metálica de cubierta en voladizo tomando como prioridad el análisis de los miembros que constituyen esta estructura basándonos en las consideraciones de la norma AISI 2016 [22], de tal manera que se lo desarrolló en el componente A y la utilización de un software como lo es Autodesk inventor para modelar y



realizar un análisis estructural y de esfuerzos para validar si el diseño es óptimo o no, por lo cual no se tomó en consideraciones el diseño de soldadura sin embargo para el planteamiento de la estructura se utiliza las recomendaciones que nos proporciona la empresa ACESO en el catálogo: perfiles estructurales geometría "G" [23] donde brinda información para la soldadura de los perfiles g tipo cajón que se utilizaron en gran medida para el diseño del presente proyecto, además en el catálogo: perfiles, manual técnico [24] da sugerencias de cómo podrían soldarse la columna con la placa base indicando que esta se la puede hacer con un cordón alrededor de todo el perfil de la columna, por lo cual también se utiliza esta sugerencia en la soldadura para la conexión viga-columna y la soldadura de las columnas con el separador, detallándolo en mayor medida en el Anexo I: consideraciones de soldadura.

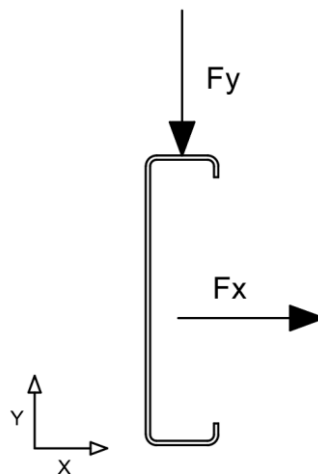
De igual manera para la soldadura de la correa con la viga se toma las recomendaciones que se presentan en el apartado de conexión entre vigas y correas de la tesis: Diseño y cálculo de la estructura metálica de la planta alta de la sede social de la cooperativa centenario de quito donde nos indica cómo se realiza la soldadura entre estos 2 elementos utilizando un porta correa dando a entender que se puede realizar soldadura a tope entre el porta correa y la correa, de igual manera el porta correas con la viga, presentándolo en el Anexo I: consideraciones de soldadura.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

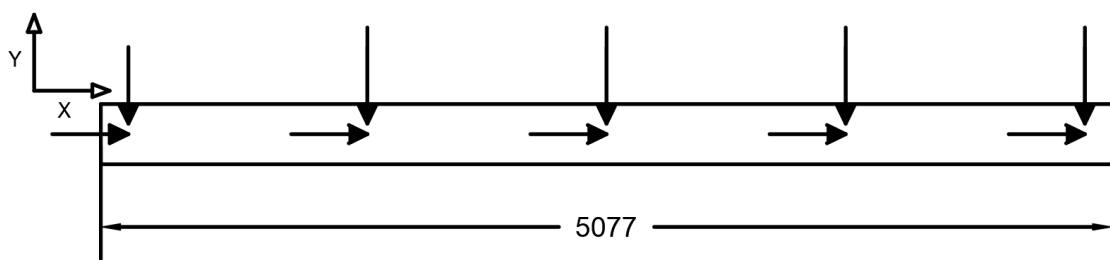
#### 3.1 Resultados

En el presente componente B, se aborda la temática de modelado y simulación de la cubierta en voladizo utilizando el software Autodesk Inventor. Este programa simplifica significativamente la obtención de resultados al analizar las cargas estructurales en el elemento, lo que nos brinda diagramas de fuerza cortante y momento flector con sus valores máximos y mínimos correspondientes.

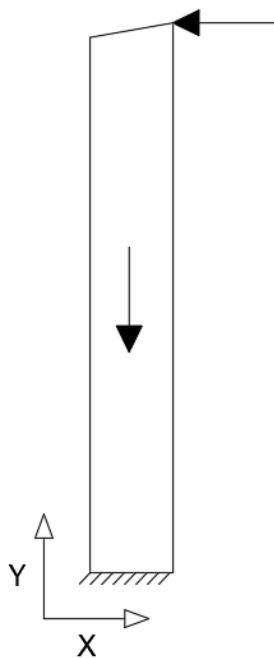
También se considera que la estructura en voladizo tendrá una inclinación de  $10^\circ$ , por lo que es necesario descomponer las fuerzas resultantes en los ejes x e y que se muestra en las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 para posterior analizar las fuerzas y momentos generados. Los resultados obtenidos a través del software se presentan en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3.



**Figura 3.1.** Ejes x e y para el diseño de la correa.



**Figura 3.2.** Ejes x e y para el diseño de la viga.



**Figura 3.3.** Ejes x e y para el diseño de la columna.

En las siguientes tablas se coloca tanto las unidades que se utilizan en el software inventor como las unidades que utiliza en el componente b sus respectivos cálculos.

**Tabla 3.1.** Resultados obtenidos para el diseño de la correa.

	Fuerza cortante				Momento flector			
	Máx. [N]	Mín. [N]	Máx. [kgf]	Mín. [kgf]	Máx. [N m]	Mín. [N m]	Máx. [kgf cm]	Mín. [kgf cm]
Eje x	-319.2	298.7	-32.55	30.46	-191.5	107.5	-1952.09	-1095.82
Eje y	2708	-2708	276.14	-2708	-4062	-	-414.21	-

**Tabla 3.2.** Resultados obtenidos para el diseño de la viga.

	Fuerza cortante				Momento flector	
	Máx. [N]	Mín. [N]	Máx. [kgf]	Mín. [kgf]	Máx. [N m]	Máx. [kgf cm]
Eje y	23986	-5948	2445.90	-606.53	-51507.69	525052.90
Eje x	Carga Axial					
	Máx. [N]	Mín. [N]		Máx. [kgf]	Mín. [kgf]	
	124.93	-48.2		12.73	-4.91	

**Tabla 3.3.** Resultados obtenidos para el diseño de la columna.

	Fuerza cortante		Momento flector	
	Máx. [N]	Máx. [kgf]	Máx. [N m]	Máx. [kgf cm]
Eje x	5642	575.32	56851.20	579522.93
Eje y	Carga Axial			
	Máx. [N]		Máx. [kgf]	
	30521.16		3112.30	

En el software Autodesk Inventor también es posible realizar un análisis de los esfuerzos que actúan sobre cada elemento para lo cual se presenta la tabla 3.4 donde se compara los esfuerzos máximos que nos entrega el software con el límite de fluencia del acero al ASTM A-36 dando como resultados que los esfuerzos no son mayores, por lo cual se garantiza que no existirá una falla inmediata y la estructura esté correctamente diseñada. También se calcula un factor de seguridad con el esfuerzo máximo obtenido para posterior comprobar que están dentro del rango que nos entrega el software verificando así su veracidad.

**Tabla 3.4.** Resultados obtenidos en el análisis de esfuerzos.

	Esfuerzo de Von Mises Máx [MPa]	Límite de fluencia [MPa]	Factor seguridad	Factor de seguridad de inventor
<b>Correa</b>	107.3	250	2.33	2.30-15
<b>Viga -columna</b>	210.4		1.19	1.18-15
<b>Placa base</b>	33.67		7.425	3.37-15

**Tabla 3.5.** Resultados obtenidos de sus desplazamientos máximos.

	Desplazamientos		
	x [mm]	y [mm]	z [mm]
<b>Correa</b>	16.61	8.825	0.257
<b>Viga -columna</b>	4.219	11.72	0.1633
<b>Placa base</b>	0.00238	0.01469	0.00457

El software también nos proporciona un máximo de desplazamientos cómo se le observa en la tabla 3.5 y a pesar de que se presentan algunos desplazamientos grandes en la correa y la columna, al comprobar que el elemento presenta un factor de seguridad óptimo

se asegura que no habrá una gran afectación al elemento debido a estos desplazamientos.

Para comparar lo obtenido en el componente A se debe indicar que su objetivo principal era analizar los elementos que conforman la estructura por medio de lo estipulado por la norma AISI 2016 tomando en cuenta las mismas cargas muertas, vivas, de viento y sísmicas que se utilizaron en el software, además en el componente A utiliza el método de las tensiones admisibles (ASD) para diseñar los elementos estructurales y analiza las condiciones de pandeo lateral elástico, pandeo local, pandeo global y pandeo distorsional para lo cual se debe realizar el cálculo de los anchos de efectivos debido a que la estructura de cubierta en voladizo presenta una inclinación de 10° donde la fuerza no estará actuando completamente sobre el elemento en comparación a lo que sucede al utilizar el software inventor que no considera esto al momento de realizar el análisis estructural.

La norma estipula que se debe cumplir la condición de la ecuación 3.1 para garantizar que el elemento estructural pueda soportar las combinaciones de carga que actúan sobre él como y cómo se muestra en la tabla 3.6 todos los elementos cumplen esta condición, por lo tanto al verificar que los elementos cumplen la condición que recomienda por la norma AISI 2016 y por el análisis de esfuerzos se garantiza que el diseño de la estructura es ideal.

$$\frac{\bar{P}}{P_a} + \frac{\bar{M}_x}{M_{ax}} + \frac{\bar{M}_y}{M_{ay}} \leq 1.0$$

**Ecuación 3.1.** Carga axial de compresión combinada y flexión. [22]

Donde:

$\bar{P}$ : Fuerza axial de compresión requerida.

$\bar{M}_x, \bar{M}_y$ : Resistencia a la flexión requerida.

$P_a$ : Resistencia axial disponible.

$M_{ax}, M_{ay}$ : Resistencia a la flexión disponible. [22]

**Tabla 3.6.** Resultados de los esfuerzos de carga combinada para cada componente.  
(Componente A).

Componente	Esfuerzo encontrado $\leq 1$	Capacidad que soporta el perfil %
Correa	0.976	97.6%
Viga	0.913	91.3%
Columna	0.711	71.1%

## 3.2 Conclusiones

- Para la realización de la estructura metálica de cubierta en voladizo se investigó la información más relevante sobre los diferentes tipos de modelos ya existentes y que cumplen con la condición de tener un voladizo de cinco metros por lo cual se encontró varias alternativas pero con muy poca información de qué se utilice los perfiles conformados en frío para su diseño por lo que conlleva a buscar una geometría versátil en donde no importe el tipo de material que se utiliza para su diseño y cumpla con las indicaciones que se puedan establecer en la norma ecuatorianas de la construcción junto con la norma AISI 2016 de miembros de estructurales conformados en frío para así obtener el diseño óptimo de la estructura.
- Al existir varias alternativas para el diseño de la estructura de cubierta en voladizo se efectúa la selección de la más adecuada y se da prioridad a la eficacia y la eficiencia del diseño sobre todo para que cumpla con las necesidades requeridas y los criterios de evaluación que se pueda establecer para lo cual la utilización del método ordinal corregido de criterios ponderados resulta beneficioso al momento de evaluar las alternativas de un diseño porque abarca en contextos generales las ventajas y desventajas, los costos que puedan presentarse, entre otros dando como resultado un orden de prioridad en cuánto a la selección de la alternativa ideal.
- Al momento de determinar las cargas que se puedan presentar sobre la estructura basándose en la norma ecuatoriana de la construcción y teniendo la geometría de la estructura definida se puede concluir cómo estas cargas son esenciales para garantizar la seguridad de la estructura y su capacidad de soportarlas durante su vida útil así como también existirán algunas cargas que no necesariamente se deben considerar ya que la forma de la estructura permite despreciarlas como en el presente proyecto, que no cumple su condición idónea para que esté presente y se la analice.
- Con el uso del software Autodesk Inventor, el proceso de elaboración de planos de conjunto y despiece se ve significativamente facilitado. Esto se debe a que es más sencillo crear dibujos en 2D, lo que permite hacer ajustes de ser necesarios antes de convertirlos en una pieza en 3D y luego ensamblarlos con el resto de los elementos. De esta manera, es posible visualizar de forma más conveniente el resultado final del diseño de la estructura antes de enviarlo a fabricar. Además, el software proporciona varias herramientas que permiten comprobar si el diseño elegido es el correcto, así como detectar cualquier falla a tiempo para resolverla.

- La validación por medio de un software de simulación resulta una herramienta útil para evaluar el comportamiento, fallas, errores que se puedan presentar al momento de diseñar una estructura y permite evaluar los efectos que puedan suscitarse por las condiciones y las cargas aplicadas sobre esta, de tal manera que se garantiza la eficiencia del diseño final.

### **3.3 Recomendaciones**

- Para la selección de alternativas se recomienda escoger las que presenten mayor diferencia entre ellas debido a que así se puede evaluar de mejor manera los criterios que se consideraron al momento de definir en qué se aplicará o se dará uso a la estructura y de esta manera asegurarse que la evaluación y selección nos dé un diseño final correcto además de no presentar demasiados problemas al momento de realizar su diseño, así como también soporte a las condiciones que estará sometida.
- Al momento de investigar sobre qué cargas actúan sobre nuestra estructura se debe considerar las normas vigentes en el país debido a que en la mayor parte de libros y normas extranjeras se consideran las condiciones climáticas en su región y las cuales no se aplicarían en nuestro caso, pero en cambio existirían la presencia de cargas diferentes como lo serían las cargas de ceniza o granizo las cuales sí se las puede considerar en zonas específicas si se plantea montar la estructura en esas zonas.
- Al momento de analizar las cargas que se puedan encontrar en las normas se debe considerar en cómo estas están aplicadas a la estructura debido a que no siempre estaremos cumpliendo con lo que la norma describe como por ejemplo el presente proyecto no cumplía lo necesario para considerar las cargas de granizo y de lluvia en lo cual se pudo desprestigiar esas cargas y se garantiza que no afectarán dichas cargas a la estructura al momento de montarla en el lugar deseado.
- Para la modelación en el software Autodesk Inventor se recomienda revisar si el perfil que se planea utilizar consta en la biblioteca que nos proporciona inventor debido a que no siempre se encontrarán los perfiles que se dispone en el país por lo cual toca crear perfiles personalizados e incluirlos en la biblioteca de inventor que nos da la opción de designar su forma el material y las diferentes medidas que puedan presentar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. Hernández, «Tipos de estructuras metálicas según su uso,» Láminas y aceros , 09 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/que-necesitas-construir...-tipos-de-estructuras-met%C3%A1licas-seg%C3%BAAn-su-uso>. [Último acceso: 20 Diciembre 2022].
- [2] R. C. Hibbler, Ingeniería mecánica Estática, Estado de México: Prentice Hall, INC., 2010.
- [3] U. «Estática,» 06 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://blogprofejnestatica.blogspot.com/2015/07/armaduras.html>. [Último acceso: 15 Junio 2022].
- [4] Europa, *Marquesinas de aparcameintos*, Madrid, 2020.
- [5] R. Osorio, «Gallery - Pergolas Sydney,» Pinterest, 16 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.pinterest.com/pin/592997475916992171/?mt=login>. [Último acceso: 21 Junio 2022].
- [6] P. Urbán Brotóns, Construcción de estructuras metálicas, Alicante: ECU.
- [7] MIPSAs , «Viga IPS (IS),» 13 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.mipsa.com.mx/productos/acero/perfiles-estructurales/viga-ips-is/>. [Último acceso: 21 Junio 2022].
- [8] AESCO, «Perfiles Estructurales Geometría “G”,» 02 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://acesco.com.ec/wp-content/uploads/2019/07/PERFIL-G.pdf>. [Último acceso: 21 Junio 2022].
- [9] J. C. McCormac y S. F. Csernak, Diseño de estructuras de acero, México : Alfaomega, 2012.
- [10] «Los perfiles laminados en frío,» [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10827/Capitulo2.pdf>. [Último acceso: 06 Septiembre 2022].
- [11] C. Aguirre Gutiérrez, Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero, Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero, 2010.
- [12] American Iron and Steel, Especificación para el diseño de miembros estructurales de acero conformado en frío, Washington, 1996.
- [13] Wikipedia, «Flexión mecánica,» Wikipedia, 15 Marzo 2020. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Flexi%C3%B3n\\_mec%C3%A1nica](https://es.wikipedia.org/wiki/Flexi%C3%B3n_mec%C3%A1nica). [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [14] Gmoralexv2, «Elementos a Flexión,» Gmoralexv2, 20 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://gmoralexv2.weebly.com/elementos-a-flexioacuten.html>. [Último acceso: 10 Enero 2023].



- [15] Norma Técnica Ecuatoriana INEN, Accesibilidad de las personas al medio físico. Estacionamientos, Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2016.
- [16] ACF Ingeniería , «Cálculo de estructura y cimentación de marquesinas,» ACF Ingeniería , 14 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://www.acfingenieria.com/project/calculo-de-estructura-y-cimentacion-de-marquesinas-gibraltar/>. [Último acceso: 25 Enero 2023].
- [17] Cambio Energético, «Estructura de parking solar para vehículos,» Cambio Energético, 19 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.cambioenergetico.com/aparcamiento-solar/2389-estructura-parking-solar.html>. [Último acceso: 19 Enero 2023].
- [18] Europa, «Modelo Celosía,» Europa, 24 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.et-europa.com/portfolio-item/modelo-celosia/>. [Último acceso: 19 Enero 2023].
- [19] Norma Ecuatoriana de la Construcción, Cargas y combinaciones de cargas, Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, p. 27.
- [20] American Society of Civil Engineers., Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures., Virginia: ASCE American Society of Civil Engineers., 2017.
- [21] J. Campos, Estabdarización de estructura metálica liviana, Quito : Escuela Politécnica Nacional - Tesis (Ingeniero Mecánico), 1981.
- [22] American Iron and Steel Institute, North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, México: CANACERO, 2016.
- [23] Aceso , «Perfiles Estructurales Geometría “G”,» Aceso, 22 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://acesco.com.ec/wp-content/uploads/2019/03/PERFIL-G.pdf>. [Último acceso: 10 Febrero 2023].
- [24] Aceso, «Perfiles Manual Técnico,» Aceso, 14 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://acesco.com.ec/wp-content/uploads/2019/01/perfiles-c-y-z-grado-50-manual-tecnico.pdf>. [Último acceso: 13 Febrero 2023].

## **4 ANEXOS**

ANEXO I. Consideraciones de soldadura.

ANEXO II. Catálogos de los diferentes perfiles utilizados para el diseño del presente proyecto.

ANEXO III. Plano de conjunto y planos de taller de la estructura metálica de cubierta en voladizo.

## ANEXO I. Consideraciones de soldadura.



### Perfiles Estructurales Geometría "G"



PERFILES ACERO ESTRUCTURAL "G"			
Grado estructural: ASTM GRADO 36 Tipo de material: Acero base laminado en caliente Sin recubrimiento Uso final: correas / columnas			
Espesor (mm)	Alma (mm) "A"	Ala (mm) "B"	Labio (mm) "C"
1.50	60	30	10
	80	40	15
1.80	60	30	10
	80	40	15
	100	50	15
1.90	60	30	10
	80	40	15
	100	50	15
2.00	60	30	10
	80	40	15
	100	50	15
	125	50	15
	150	50	15
3.00	100	50	15
	125	50	15
	150	50	15
	200	50	15
	300	64	20

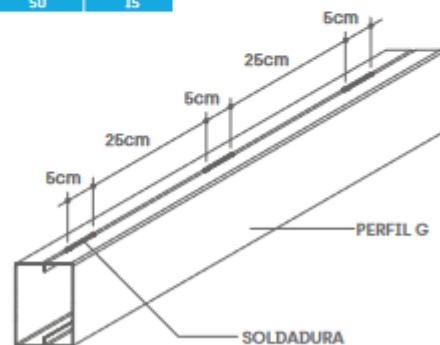
PERFILES ACERO ESTRUCTURAL "G"			
Grado estructural: ASTM GRADO 50 Tipo de material: Acero base laminado en frío Con recubrimiento Z275 Uso final: correas / columnas			
Espesor (mm)	Alma (mm) "A"	Ala (mm) "B"	Labio (mm) "C"
2.00	60	30	10
	80	40	15
	100	50	15
	150	50	15
2.50	100	50	15
	150	50	15
	200	50	15
	250	50	15
	300	64	20
3.00	100	50	15
	125	50	15
	150	50	15
	200	50	15
	300	64	20

PERFILES ACERO ESTRUCTURAL "G"			
Grado estructural: ASTM GRADO 50 Tipo de material: Acero base laminado en caliente Sin recubrimiento Uso final: correas / columnas			
Espesor (mm)	Alma (mm) "A"	Ala (mm) "B"	Labio (mm) "C"
1.80	60	30	10
	80	40	15
	100	50	15

PERFILES ACERO ESTRUCTURAL "G"			
Grado estructural: ASTM GRADO 37 Tipo de material: Acero base laminado en frío Con recubrimiento Z180 Uso final: correas / columnas			
Espesor (mm)	Alma (mm) "A"	Ala (mm) "B"	Labio (mm) "C"
1.90	60	30	10
	80	40	15
	100	50	15

#### DETALLES DE FIJACIÓN

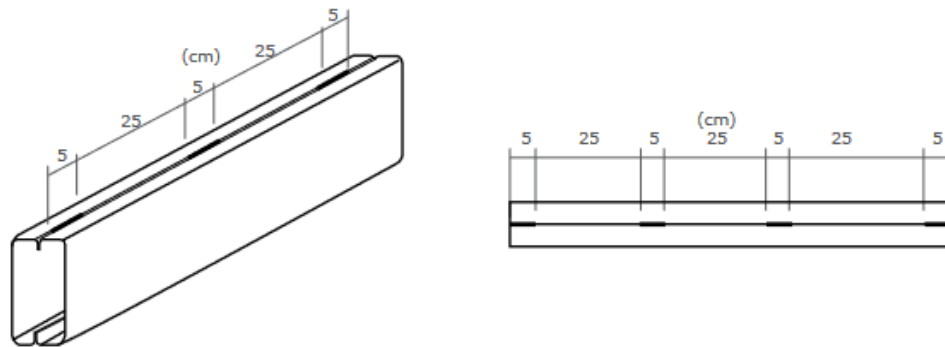
Utilizar:  
Soldadura E70XX 3/32" o 1/8"  
MIG alambre ER70S-6



Nota: Para instalación y mantenimiento visita nuestro sitio web

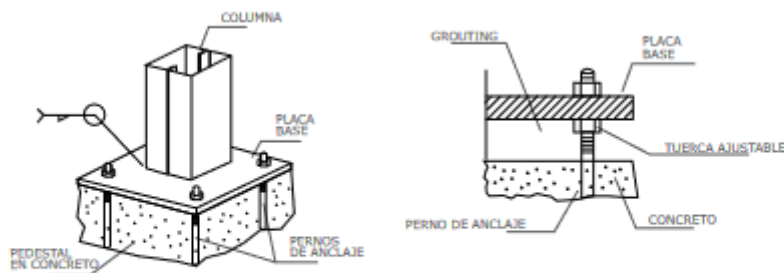
Última revisión: Febrero 2019

**DETALLE CONFORMACIÓN DE SECCIONES**

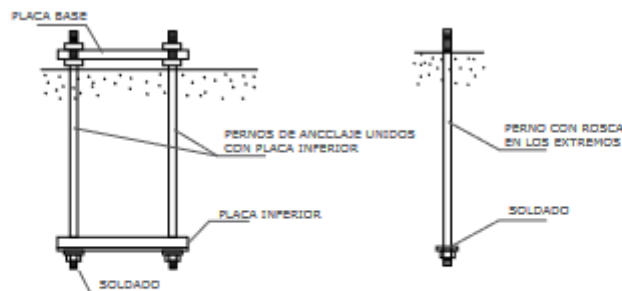


**SOLDADURA**

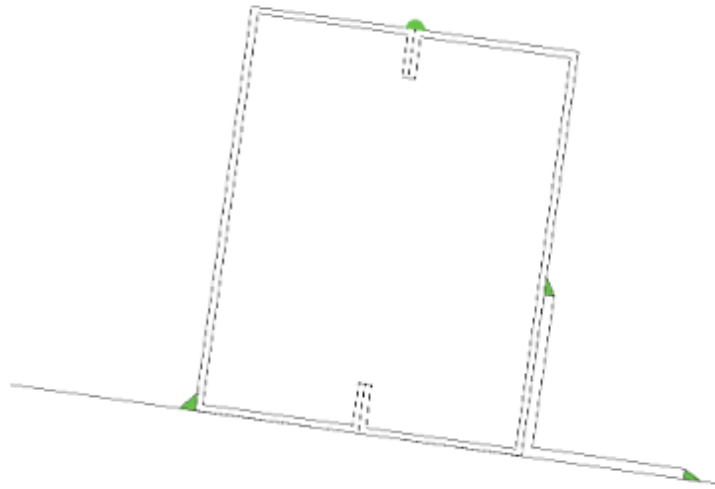
Para la conformación de los diferentes tipos de secciones (Cajones e I) se recomienda utilizar soldadura E70XX en cordones de 5 cm de longitud espaciados cada 25 cm. Asimismo en las áreas de aplicación de soldadura se recomienda retocar el acabado con dos capas de pintura anticorrosiva. Ver NSR-10 F.4.4.1.2.1



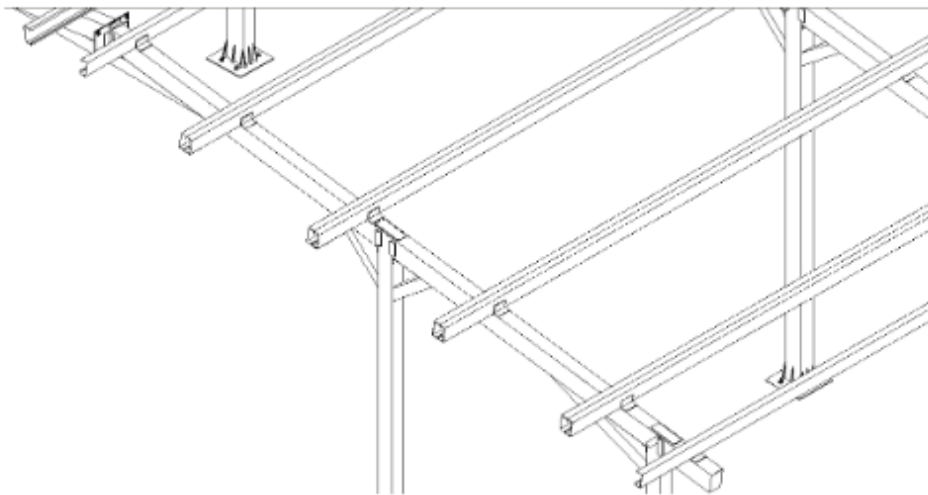
Placa base columnas con perfiles cajón y grouting de nivelación



Marco de sujeción de anclajes en pedestales de concreto.  
Anclaje roscado con tuerca y arandela en el extremo



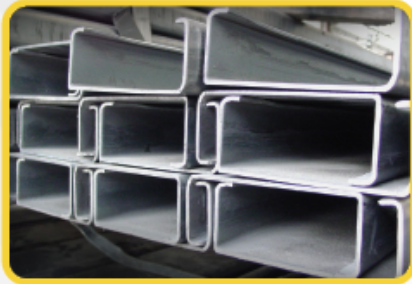
**Figura 3.27.-** Ubicación de la soldadura en las correas de la segunda planta.



**Figura 3.28.-** Conexión entre correa y viga de segunda planta.

# ANEXO II. Catálogos de los diferentes perfiles utilizados para el diseño del presente proyecto.

## PERFILES ESTRUCTURALES CORREAS "G"



### Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 1623
Calidad:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Espesores:	Desde 2mm - 12mm
Acabado:	Acero negro y galvanizado

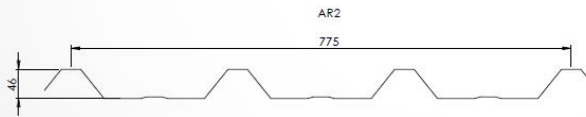
PERFILES

Designación	Dimensiones				Masa Kg/m	A cm <sup>2</sup>	d1 cm	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	c	e				Ix	Iy	Wx	Wy	Ix	Iy
	mm	mm	mm	mm				cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
G 60x30x10x2	60	30	10	2	1,96	2,54	1,44	14,88	5,28	4,9	2,74	2,42	1,44
G 80x40x15x2	80	40	15	2	2,75	3,54	1,46	35,25	8,07	8,81	3,18	3,16	1,51
G 80x40x15x3	80	40	15	3	3,95	5,11	1,46	49,04	10,85	12,26	4,27	3,1	1,46
G 80x50x15x2	80	50	15	2	3,06	3,88	1,46	41,11	13,55	10,28	4,34	3,23	1,88
G100x50x15x2	100	50	15	2	3,38	4,34	1,73	69,24	14,98	13,85	4,57	4,00	1,86
G100x50x15x3	100	50	15	3	4,89	6,31	1,72	97,78	20,51	19,56	6,25	3,94	1,8
G100x50x15x4	100	50	15	4	6,29	8,15	1,71	122,5	24,85	24,49	7,55	3,88	1,75
G100x50x20x4	100	50	20	4	6,60	8,55	1,85	126,7	28,5	25,34	9,05	3,85	1,83
G100x50x25x5	100	50	25	5	8,35	10,86	1,98	152,51	36,52	30,5	12,09	3,75	1,83
G125x50x15x2	125	50	15	2	3,77	4,84	1,56	116,4	16,16	18,63	4,69	4,91	1,83
G125x50x15x3	125	50	15	3	5,48	7,06	1,55	165,5	22,16	26,48	6,43	4,84	1,77
G125x50x15x4	125	50	15	4	7,07	9,15	1,54	208,7	26,88	33,39	7,78	4,78	1,71
G125x50x15x5	125	50	15	5	8,55	11,11	1,54	246,2	30,41	39,39	8,78	4,71	1,65
G125x50x15x6	125	50	15	6	10,03	13,06	1,54	283,7	33,94	46,37	9,78	4,64	1,6
G125x50x20x4	125	50	20	4	7,39	9,55	1,68	217	30,9	34,7	9,32	4,77	1,8
G125x50x25x5	125	50	25	5	9,33	12,11	1,8	264,3	39,88	42,29	12,46	4,67	1,82
G125x50x30x6	125	50	30	6	11,32	14,73	1,92	307,1	48,69	49,14	15,81	4,56	1,81
G150x50x15x2	150	50	15	2	4,16	5,34	1,42	178,7	17,13	23,83	4,78	5,79	1,79
G150x50x15x3	150	50	15	3	6,07	7,81	1,42	255,2	23,49	34,03	6,56	5,72	1,73
G150x50x15x4	150	50	15	4	7,86	10,15	1,41	323,5	28,51	43,13	7,95	5,65	1,68
G150x50x15x5	150	50	15	5	9,53	12,38	1,41	383,6	32,27	51,15	8,98	5,57	1,62
G150x50x20x4	150	50	20	4	8,17	10,5	1,54	337	32,9	44,9	9,52	5,65	1,77
G150x75x25x5	150	75	25	5	12,28	15,86	2,65	645,4	117,2	72,71	24,17	5,86	2,72
G150x75x30x6	150	75	30	6	14,86	19,23	2,78	841,4	144,5	85,52	30,57	5,77	2,74
G175x50x15x2	175	50	15	2	4,56	5,84	1,31	257,7	17,92	29,45	4,85	6,84	1,75
G175x50x15x3	175	50	15	3	6,66	8,56	1,31	369,4	24,59	42,22	6,86	6,57	1,7
G175x50x15x4	175	50	15	4	8,64	11,15	1,3	470,0	29,85	53,71	8,07	6,49	1,64
G175x50x15x5	175	50	15	5	10,51	13,81	1,3	559,7	33,79	63,97	9,14	6,41	1,58
G175x75x25x4	175	75	25	4	10,84	13,9	2,48	653,0	105	74,6	20,9	6,84	2,75
G175x75x25x5	175	75	25	5	13,26	17,11	2,47	786,0	123,9	89,82	24,63	6,78	2,69
G175x75x30x6	175	75	30	6	16,03	20,73	2,6	929,4	152,8	106,2	31,19	6,7	2,72
G200x50x15x2	200	50	15	2	4,95	6,34	1,21	354,9	18,59	35,49	4,91	7,48	1,71
G200x50x15x3	200	50	15	3	7,25	9,31	1,21	510,3	25,51	51,03	6,73	7,4	1,66
G200x50x15x4	200	50	15	4	9,43	12,15	1,21	651,4	30,96	65,14	8,18	7,32	1,6
G200x50x15x5	200	50	15	5	11,49	14,86	1,21	778,3	35,06	77,83	9,26	7,24	1,54
G200x75x25x4	200	75	25	4	11,63	14,9	2,32	895,0	110,0	89,50	21,3	7,64	2,71
G200x75x25x5	200	75	25	5	14,24	18,37	2,32	1080,0	129,6	108,0	25,02	7,67	2,66
G200x75x30x6	200	75	30	6	17,21	22,23	2,45	1282,0	160,2	128,2	31,73	7,59	2,68
G250x75x25x4	250	75	25	4	13,20	6,90	2,07	1520,0	118,0	122,0	21,7	9,48	2,64
G250x100x25x5	250	100	25	5	18,17	23,36	2,73	2219,0	265,3	177,5	39,24	9,75	3,49
G250x100x30x6	250	100	30	6	21,82	8,23	3,1	2647,0	383,5	219,8	55,58	9,68	3,69
G300x100x30x4	300	100	30	4	16,65	21,3	2,84	2860,0	274,0	191,0	38,3	11,6	3,58
G300x100x35x5	300	100	35	5	20,91	26,9	2,97	3560,0	351,0	237,0	49,9	11,5	3,62
G300x100x35x6	300	100	35	6	24,75	31,8	2,96	4170,0	404,0	278,0	57,4	11,4	3,56

Dimensiones exteriores a la sección transversal. Radio de curvatura interior igual a 1,5e para espesores menores a 6,00 mm Radio de curvatura interior igual a 2e para espesores de 6,00 mm o mayores

\*Otras calidades, largos y acabados: previa consulta

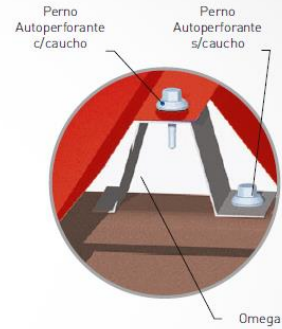
## PANEL AR - 2



Su geometría es ideal cuando se tienen grandes distancias entre apoyos. Por esta razón tiene gran acogida en la construcción de naves industriales, estadios, iglesias, etc.

**EL PANEL AR - 2** tiene la cresta trapezoidal más alta de toda la línea Estilpanel.

### DETALLE DE INSTALACIÓN



Su fácil instalación y su sistema de sujeción a través de pernos y conectores tipo omega, permiten un mejor trabajo estructural del techo.

AR - 2						
CUADRO DE ESPESORES Y PESO						
Espesor (mm)	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.60
Peso (kg/m <sup>2</sup> )	2.95	3.44	3.94	4.43	4.92	5.90

6

**Estilpanel**  
NOVACERO

CATÁLOGO PANELES, CUBIERTAS Y PAREDES  
Edición No. 4 - Enero 2018

EL ACERO DEL FUTURO  
**NOVACERO**

## • Accesorios de fijación

### SOBRE CORREA METÁLICA

Use Gancho "J" o tornillos auto perforante para metal



### SOBRE CORREA MADERA

Use clavo o tornillo auto perforante para madera



Tornillo Auto perforante Para Metal

Tornillo Auto perforante Para Madera

Clavo

Gancho "J"



\* Instalar con pernos auto perforantes, sobre la cresta

**Duratecho**  
NOVACERO



# VARILLA RECTA

SISMORESISTENTE PARA HORMIGÓN ARMADO

## ► DESCRIPCIÓN

Es una varilla de acero de sección circular, con resaltes transversales que asegura una alta adherencia con el concreto; laminada en caliente y termotratada que garantiza mayor flexibilidad y seguridad que el acero común. Soldable, cumpliendo la norma AWS D1.4, según lo especificado en la **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)**.

## ► USOS

Principalmente como refuerzo en estructuras de hormigón armado.

## ► NORMAS TÉCNICAS

### NTE INEN 2167 (Ecuatoriana)

Varillas de acero corrugadas y lisas de baja aleación para refuerzo de hormigón. Requisitos

### ASTM A706 (Americana)

Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement.

TABLA DE VARILLA

Diámetro mm	kg/m	12 m		9 m		6 m		Tolerancia en Longitud
		kg	Var x qq	kg	Var x qq	kg	Var x qq	
8	0,395	4,740	9,568	3,555	12,757	2,370	19,136	± 50mm
10	0,617	7,404	6,125	5,553	8,167	3,702	12,251	
12	0,888	10,656	4,256	7,992	5,675	5,328	8,512	
14	1,208	14,496	3,129	10,872	4,171	7,248	6,257	
16	1,578	18,936	2,395	14,202	3,193	9,468	4,790	
18	1,998	23,976	1,892	17,982	2,522	11,988	3,783	
20	2,466	29,592	1,533	22,194	2,043	14,796	3,065	
22	2,984	35,808	1,267	26,856	1,689	17,904	2,533	
25	3,853	46,236	0,981	34,677	1,308	23,118	1,962	
28	4,834	58,008	0,782	43,506	1,042	29,004	1,564	
32	6,313	75,756	0,599	56,817	0,798	37,878	1,197	
36	7,990	95,880	0,473	71,910	0,631	47,940	0,946	
40	9,865	118,38	0,383	88,785	0,511	59,190	0,766	

PROPIEDADES MECÁNICAS	MPa	kgf/mm <sup>2</sup>
Límite de fluencia mínimo	420	42
Límite de fluencia máximo	540	55
Resistencia a la tracción mínima	550	56

ALARGAMIENTO (%) MÍNIMO CON PROBETA L <sub>0</sub> =200mm	
Diámetro nominal (mm)	%
d ≤ 20	14
22 ≤ d ≤ 36	12
d > 36	10

DOBLADO A 180°	
Diámetro nominal (d) mm	Diámetro del mandril (D) mm
d < 18	D=3d
18 ≤ d ≤ 25	D=4d
25 < d ≤ 36	D=6d
d > 36	D=8d

► Varillas Rectas de longitudes estándar de 6, 9 y 12 m. Longitudes especiales bajo pedido.

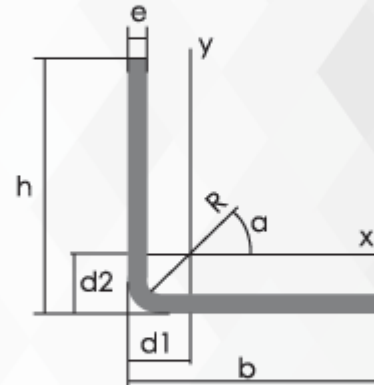


# PERFILES ESTRUCTURALES

## ÁNGULOS "L" DOBLADO

### Especificaciones Generales:

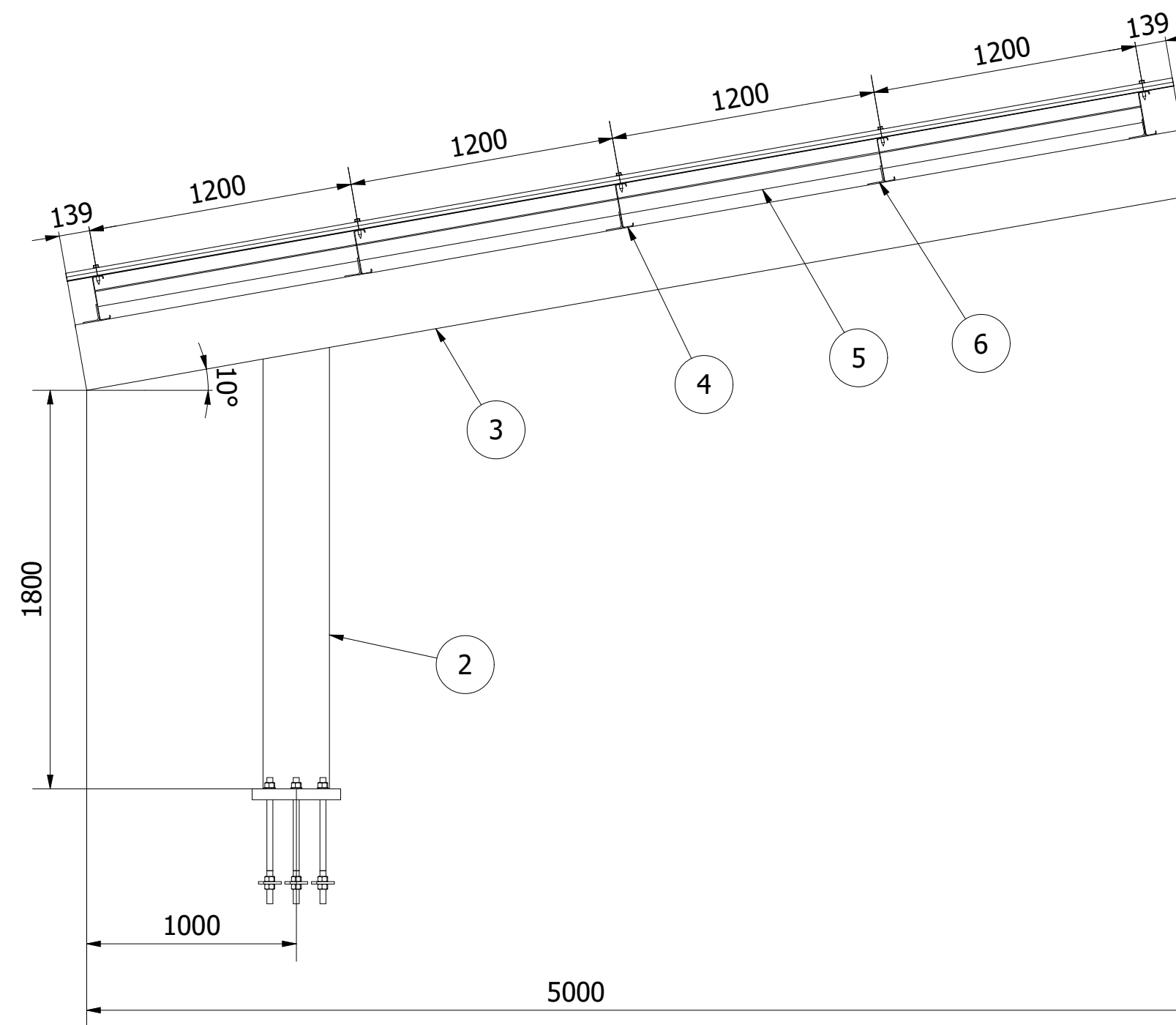
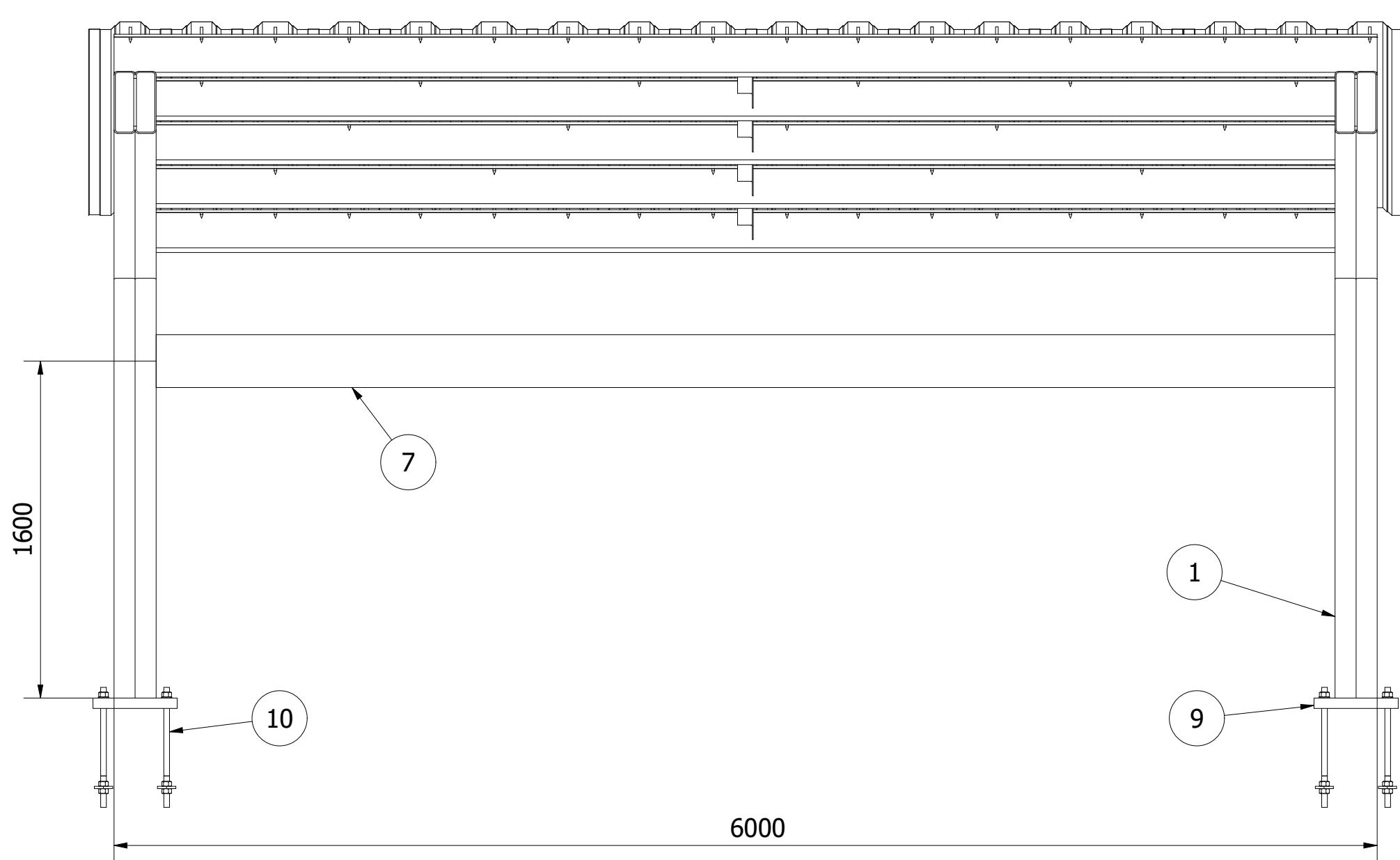
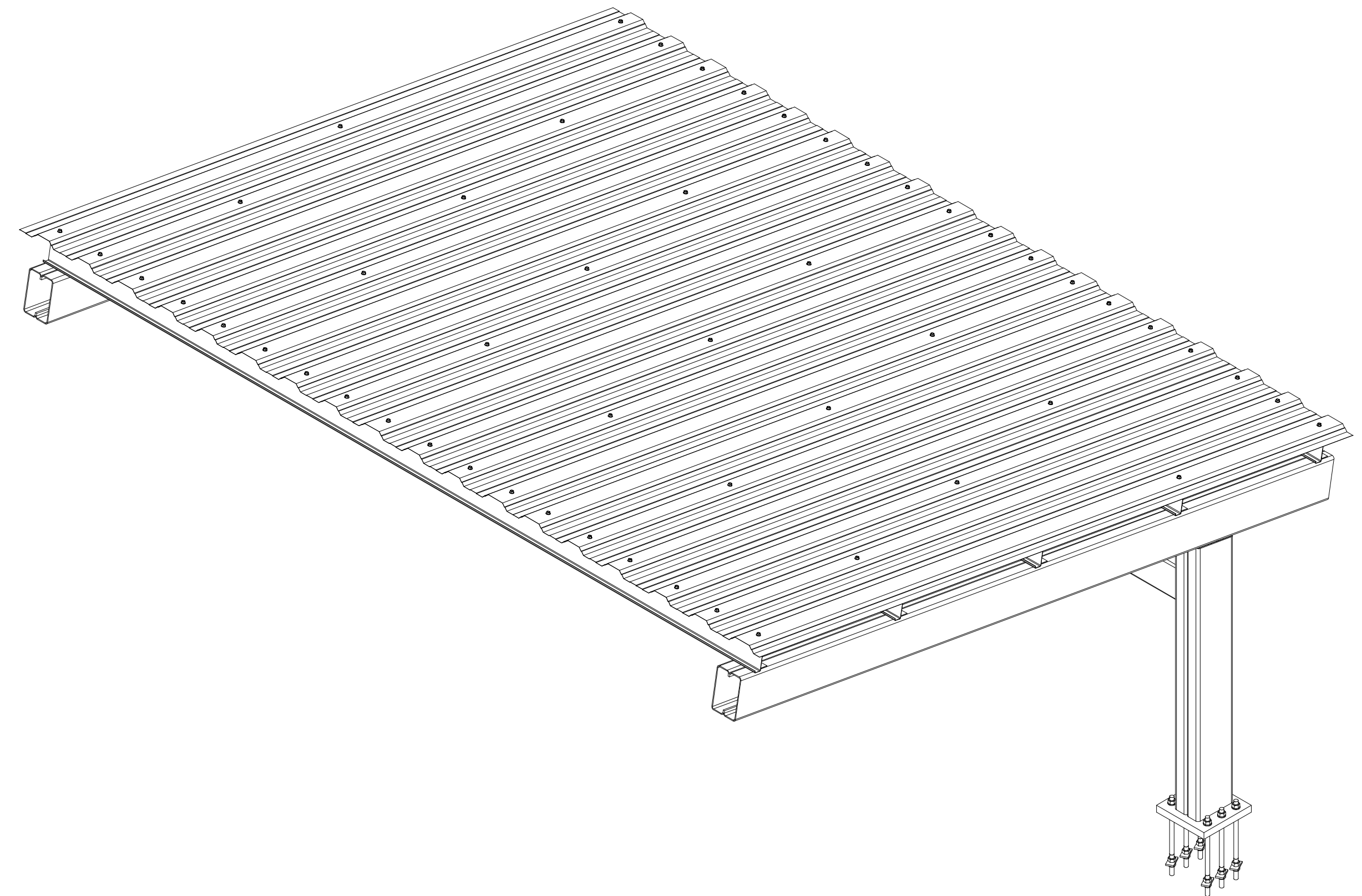
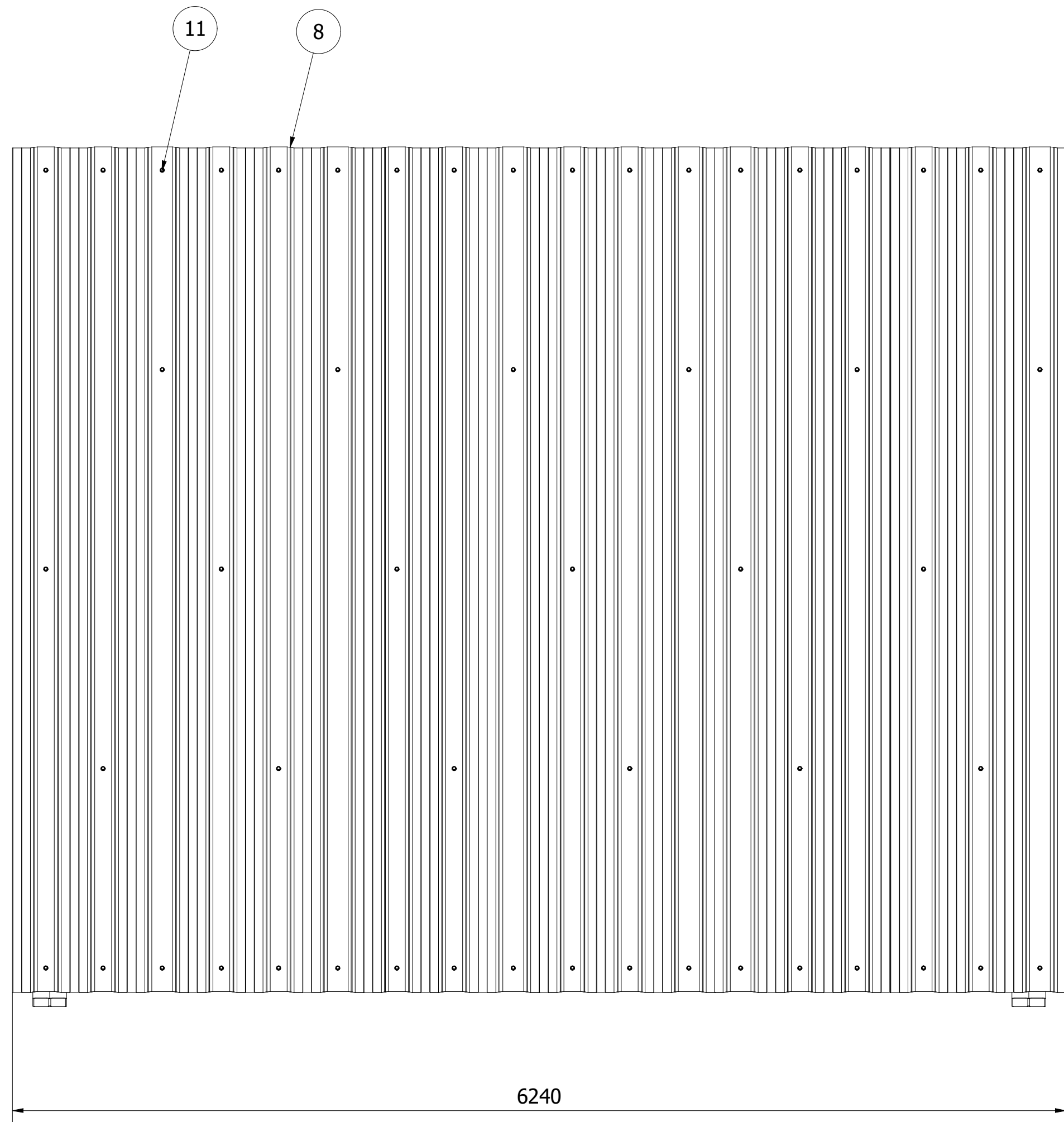
<b>Norma:</b>	NTE INEN 1623
<b>Calidad:</b>	ASTM A36
<b>Largo Normal:</b>	6,00m y medidas especiales
<b>Espesores:</b>	Desde 2,00mm - 12mm
<b>Acabado:</b>	Acero Negro



Descripción	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo α	Eje X - X				Eje Y - Y			Eje U - U			Eje V - V		
									Ix	Wx	rx	Iy	Wy	ry	Iu	Wu	ru	Iv	Wv	rv	
									cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37	
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34	
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47	
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45	
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57	
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55	
L 30x 4	30	30	4	1,65	2,10	0,95	0,95	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,52	
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78	
L 40x 3	40	40	3	1,75	2,23	1,15	1,15	45,00	3,49	1,22	1,25	3,49	1,22	1,25	5,71	2,02	1,60	1,27	0,90	0,75	
L 40x 4	40	40	4	2,28	2,90	1,20	1,20	45,00	4,44	1,59	1,24	4,44	1,59	1,24	7,23	2,59	1,59	1,55	1,10	0,73	
L 40x 5	40	40	5	2,77	3,54	1,25	1,25	45,00	5,29	1,92	1,22	5,29	1,92	1,22	8,80	3,11	1,58	1,77	1,25	0,71	
L 50x 2	50	50	2	1,51	1,93	1,35	1,35	45,00	4,85	1,33	1,59	4,85	1,33	1,59	7,85	2,22	2,02	1,85	1,05	0,98	
L 50x 3	50	50	3	2,22	2,83	1,40	1,40	45,00	7,01	1,95	1,57	7,01	1,95	1,57	11,42	3,23	2,01	2,61	1,47	0,96	
L 50x 4	50	50	4	2,90	3,70	1,45	1,45	45,00	9,01	2,54	1,56	9,01	2,54	1,56	14,76	4,18	2,00	3,25	1,84	0,94	
L 50x 5	50	50	5	3,56	4,54	1,50	1,50	45,00	10,84	3,10	1,55	10,84	3,10	1,55	17,89	5,06	1,99	3,79	2,14	0,91	
L 60x 3	60	60	3	2,69	3,43	1,65	1,65	45,00	12,34	2,84	1,90	12,34	2,84	1,90	20,03	4,72	2,42	4,65	2,19	1,16	
L 60x 4	60	60	4	3,53	4,50	1,70	1,70	45,00	15,96	3,71	1,70	15,96	3,71	1,70	26,04	6,14	2,40	5,88	2,77	1,14	
L 60x 5	60	60	5	4,34	5,54	1,75	1,75	45,00	19,33	4,55	1,87	19,33	4,55	1,87	31,72	7,48	2,39	6,95	3,27	1,12	
L 75x 3	75	75	3	3,40	4,33	2,02	2,02	45,00	24,55	4,48	2,38	24,55	4,48	2,38	39,72	7,49	3,03	9,38	3,53	1,47	
L 75x 4	75	75	4	4,47	5,70	2,07	2,07	45,00	31,94	5,88	2,37	31,94	5,88	2,37	51,90	9,79	3,02	11,99	4,51	1,45	
L 75x 5	75	75	5	5,52	7,04	2,12	2,12	45,00	38,96	7,24	2,35	38,96	7,24	2,35	63,58	11,99	3,01	14,35	5,40	1,43	
L 75x 6	75	75	6	6,53	8,33	2,17	2,17	45,00	45,60	8,56	2,34	45,60	8,56	2,34	74,73	14,09	2,99	16,46	6,20	1,41	
L 80x 4	80	80	4	4,79	6,10	2,20	2,20	45,00	39,00	6,72	2,53	39,00	6,72	2,53	63,30	11,19	3,22	14,70	5,19	1,55	
L 80x 5	80	80	5	5,91	7,54	2,25	2,25	45,00	47,65	8,28	2,51	47,65	8,28	2,51	77,64	13,72	3,21	17,65	6,23	1,53	
L 80x 6	80	80	6	7,00	8,93	2,30	2,30	45,00	55,86	9,79	2,50	55,86	9,79	2,50	91,39	16,16	3,20	20,32	7,17	1,51	
L 80x 8	80	80	8	9,11	11,61	2,40	2,40	45,00	71,03	12,68	2,47	71,03	12,68	2,47	117,22	20,72	3,18	24,85	8,78	1,46	
L 80x 10	80	80	10	11,09	14,14	2,50	2,50	45,00	94,59	15,39	2,45	94,59	15,39	2,45	140,84	24,90	3,16	28,34	10,04	1,42	
L100x 5	100	100	5	7,48	9,54	2,75	2,75	45,00	95,23	13,13	3,16	95,23	13,13	3,16	154,55	21,86	4,03	35,90	10,13	1,94	

\*Otras calidades, largos y acabados: previa consulta

**ANEXO III. Plano de conjunto y planos de taller de la estructura metálica de cubierta en voladizo.**



11	1A	Pernos Autoperforante 14x3	ISO 1479	54	Acero de bajo carbono	Normalizado
10	1E	Perno de anclaje	NTE INEN 2167	12	Acero	Normalizado
9	3E	Placa Base	001-08	2	Acero ASTM A36	Ninguna
8	2A	Steel Panel AR-2	NTE INEN 2221	7	Acero	Normalizado
7	2E	Separador de columna	001-07	1	Acero ASTM A36	Ninguna
6	6D	Porta Correa	001-06	10	Acero ASTM A36	Ninguna
5	5D	Separador de correa	001-05	4	Acero ASTM A36	Ninguna
4	5D	Correa G	001-04	5	Acero ASTM A36	Ninguna
3	5D	Viga	001-03	2	Acero ASTM A36	Ninguna
2	5E	Columna	001-02	2	Acero ASTM A36	Ninguna
1	3E	Conjunto soldado	001-01	1	Acero ASTM A36	Detalles de soldadura
N° ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN	

EPN FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

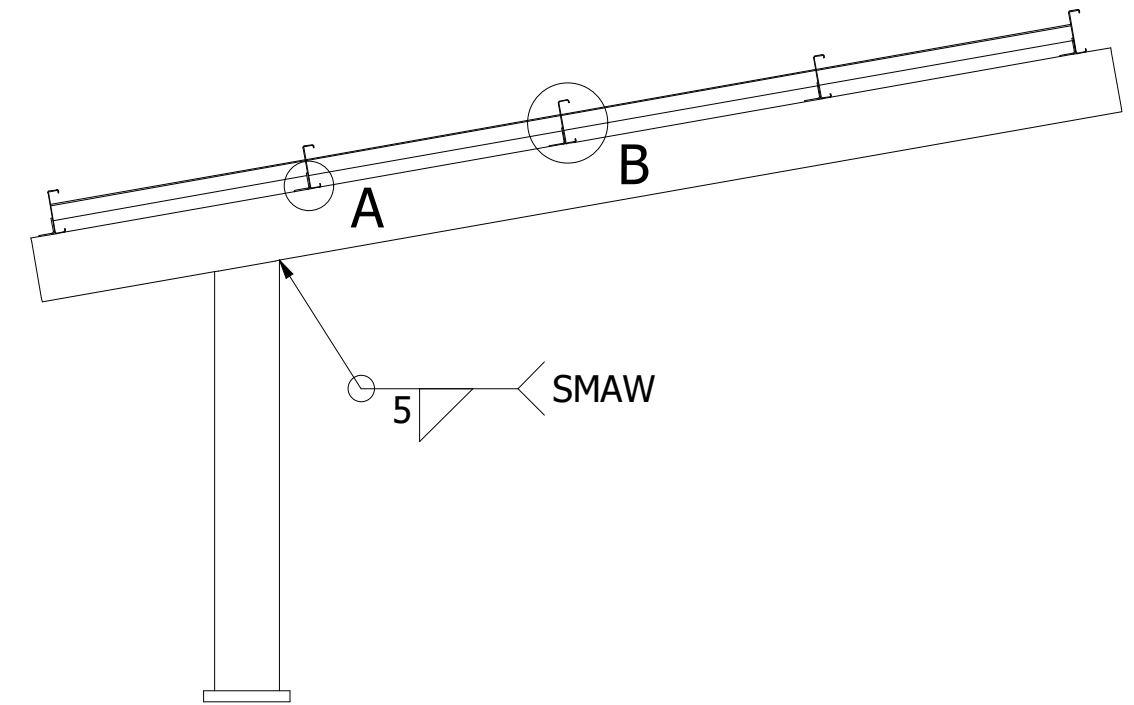
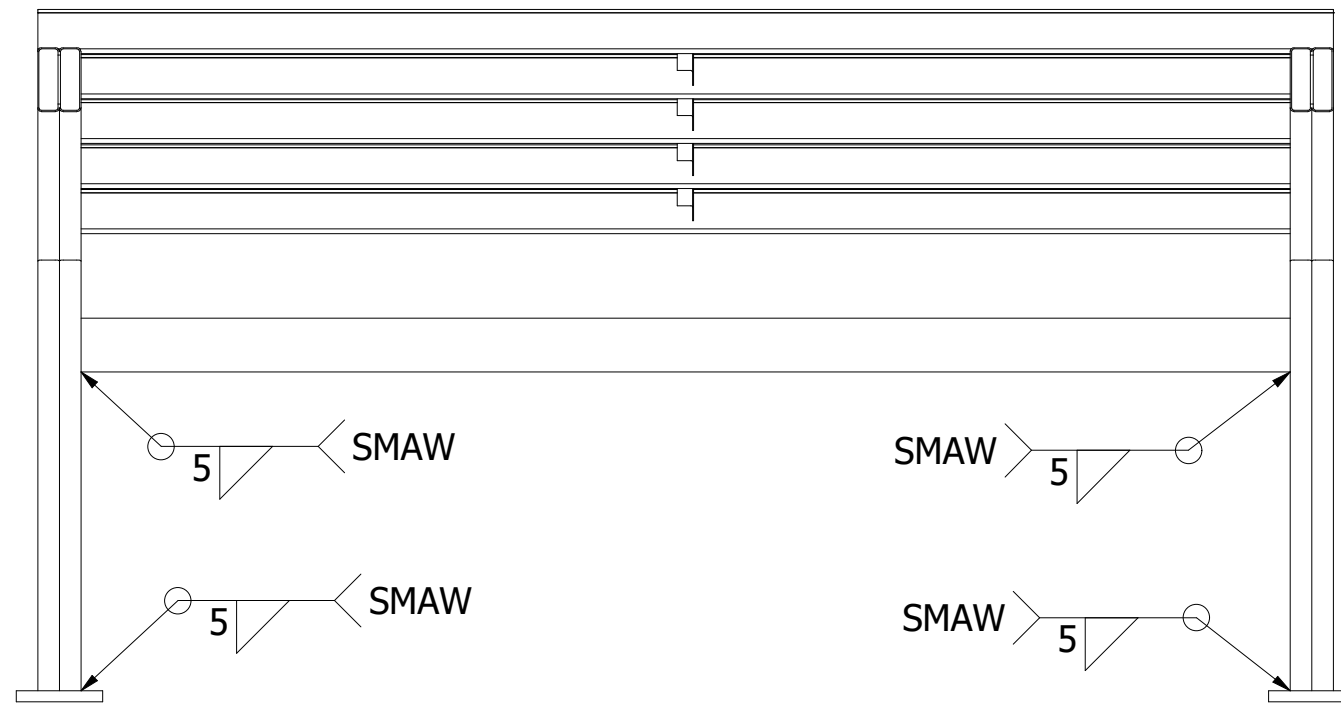
Dib. Steve Aro  
Dis. Steve Aro  
Rev. Mario Césen

Escala: 1:25

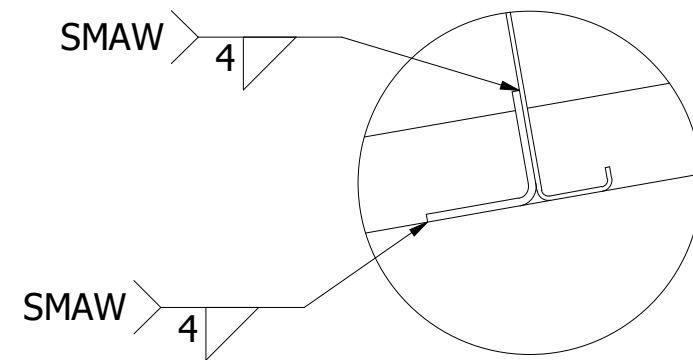
COLUMNA

CMV:001

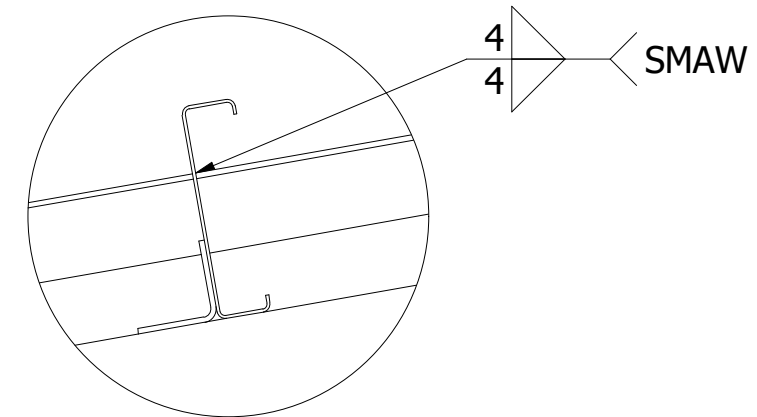
Fecha: 24/02/2023



A ( 1:5 )

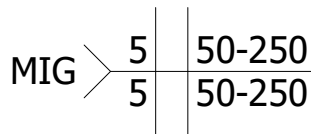
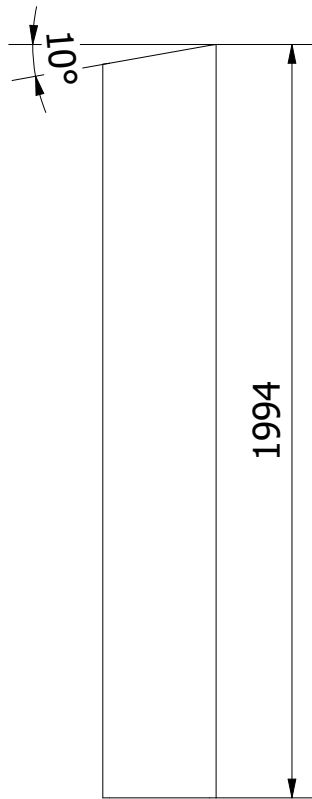
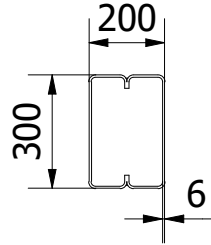


B ( 1:7 )

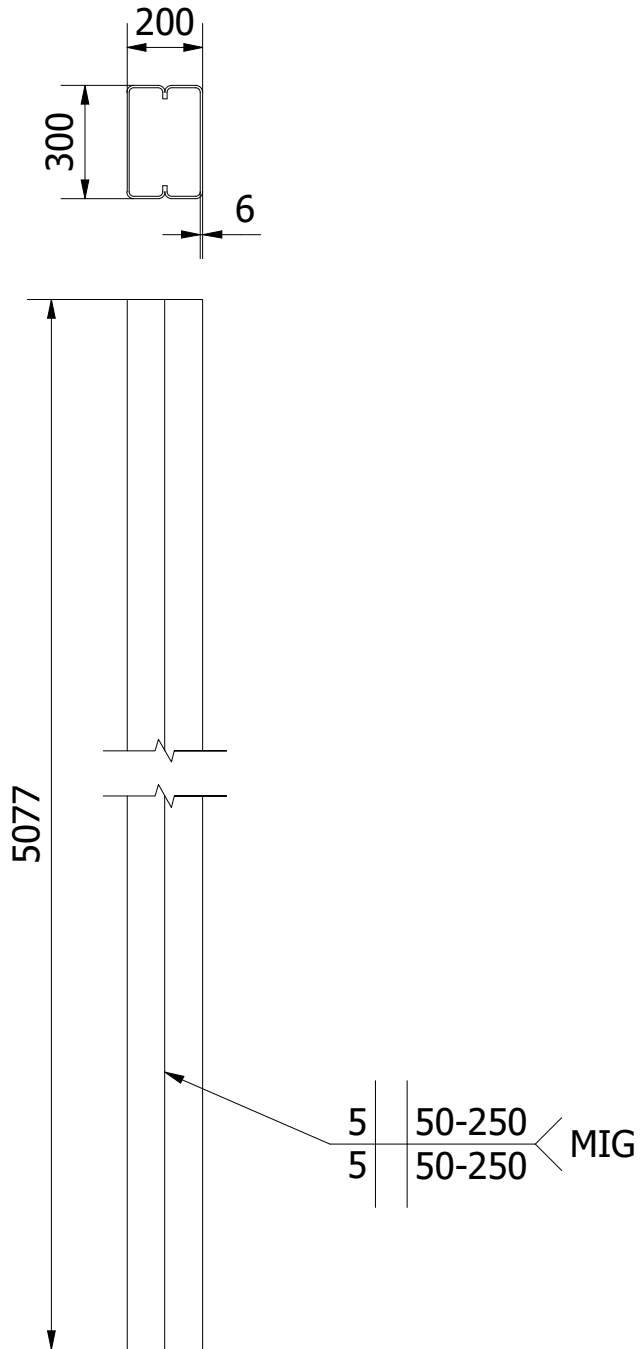


**Nota:**  
 En el presente plano de taller solo se detallará las cotas de soldadura.  
 La soldadura del detalle A y B se repite en todas las correas.

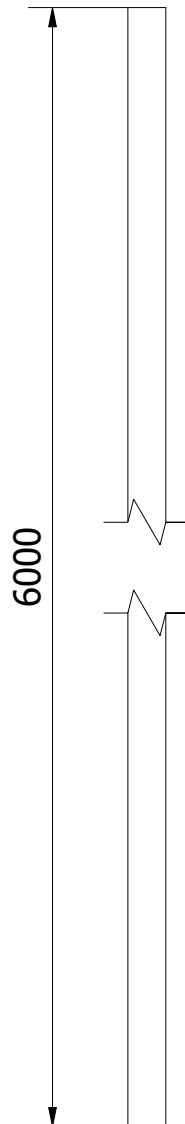
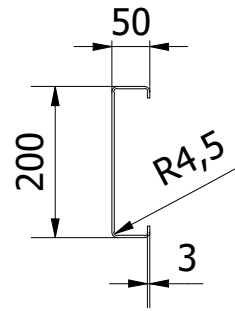
Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura anticorrosiva		Dib.	Steve Aro
Material:	ACERO A-36	Tol. Gral. ± 1	Dis.	Steve Aro
			Rev.	Mario Césen
<b>CONJUNTO SOLDADO</b>			<b>CMV:001-01</b>	
			Fecha: 24/02/2023	



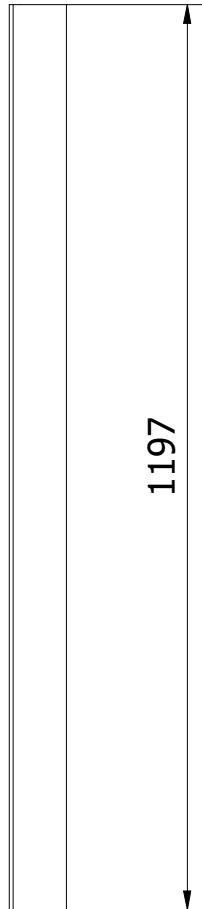
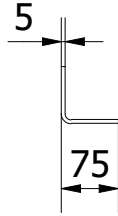
Trat. Térmico	Ninguno		<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura anticorrosiva				
Material:	ACERO A-36	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:20	Dib.	Steve Aro
				Dis.	Steve Aro
				Rev.	Mario Césen
<b>COLUMNA</b>			<b>CMV:001-02</b>		Fecha: 24/02/2023



Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura anticorrosiva		Dib.	Steve Aro	
Material:	ACERO A-36	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:20	Dis.	Steve Aro
				Rev.	Mario Césen
				<b>VIGA</b>	
				Fecha: 24/02/2023	

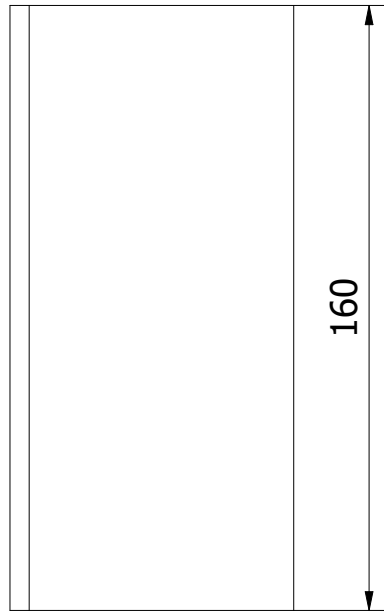
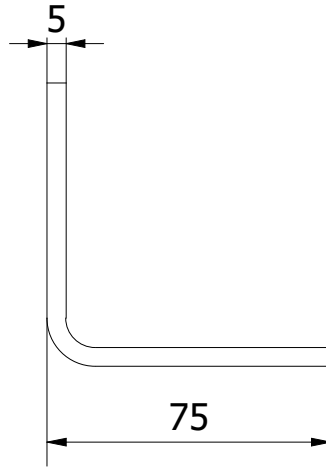


Trat. Térmico	Ninguno		<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura anticorrosiva				
Material:	ACERO A-36	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:10	Dib.	Steve Aro
				Dis.	Steve Aro
				Rev.	Mario Césen
<b>CORREA G</b>			<b>CMV:001-04</b>		Fecha: 24/02/2023

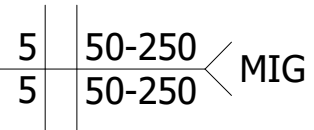
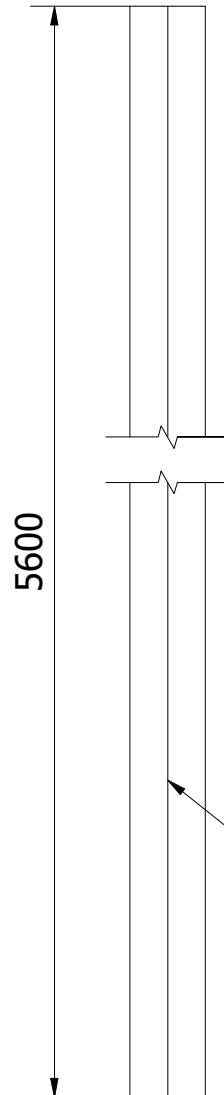
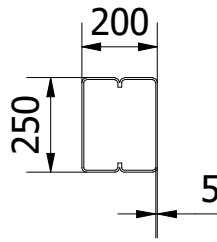


Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura anticorrosiva			
Material: ACERO A-36	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:10	Dib.	Steve Aro
			Dis.	Steve Aro
			Rev.	Mario Césen
<b>SEPARADOR DE CORREA</b>		<b>CMV:001-05</b>		Fecha: 24/02/2023

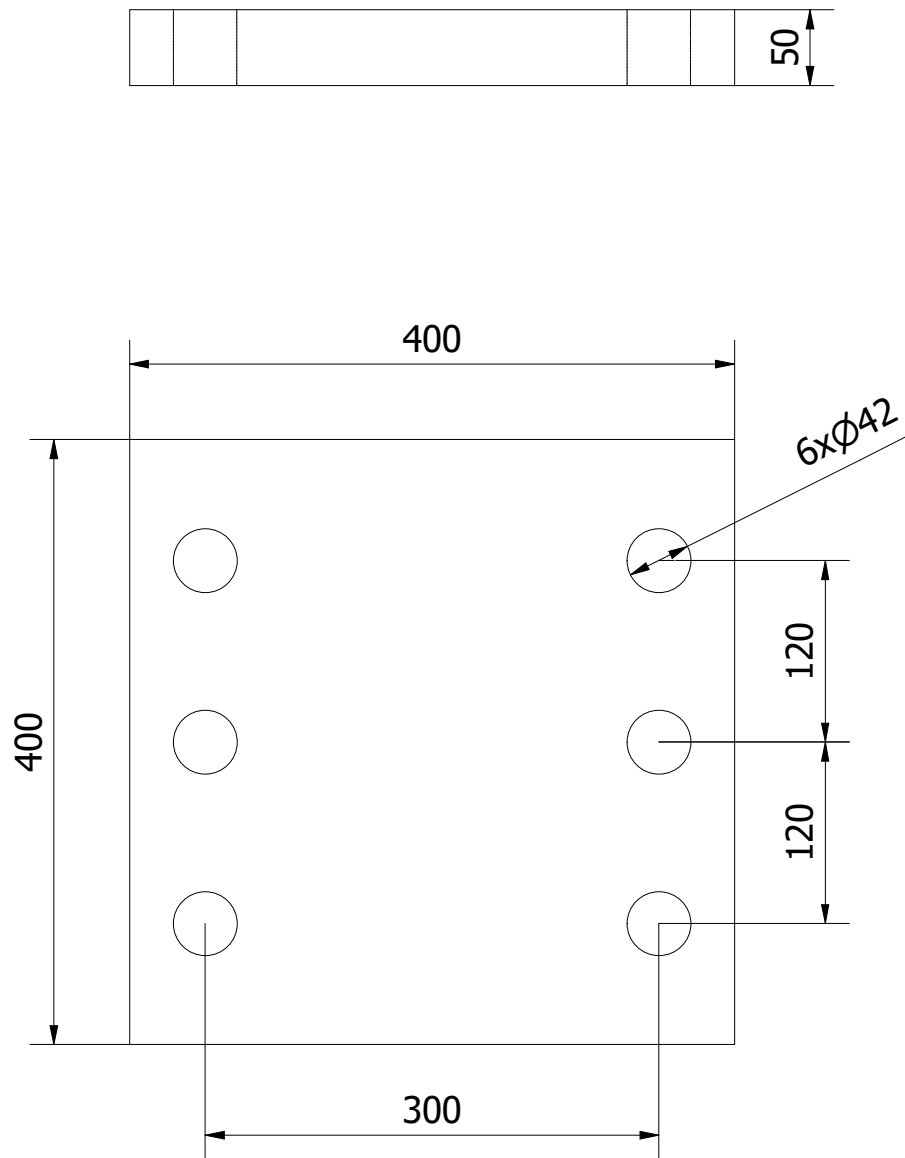




Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura anticorrosiva			
Material: ACERO A-36	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:2	Dib.	Steve Aro
			Dis.	Steve Aro
			Rev.	Mario Césen
<b>PORTA CORREA</b>		<b>CMV:001-06</b>		Fecha: 24/02/2023



Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura anticorrosiva		Dib.	Steve Aro	
Material:	ACERO A-36	Tol. Gral. ± 1	Escala:	Dis.	Steve Aro
			1:20	Rev.	Mario Césen
<b>SEPARADOR DE COLUMNA</b>			<b>CMV:001-07</b>		Fecha: 24/02/2023



Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura anticorrosiva				
Material:	ACERO A-36	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:5	Dib.	Steve Aro
				Dis.	Steve Aro
				Rev.	Mario Césen
<b>PLACA BASE</b>		<b>CMV:001-08</b>		Fecha:	24/02/2023