

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA MODULAR DE
MONTAJE FOTOVOLTAICO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

PESANTEZ BARRAGAN KEVIN ALEJANDRO

kevin.pesantez@epn.edu.ec

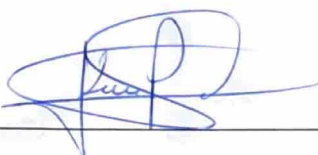
DIRECTOR: ESTEBAN ALEJANDRO VALENCIA TORRES

esteban.valencia@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Kevin Alejandro Pesantez Barragán 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.



KEVIN PESANTEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Kevin Alejandro Pesantez Barragán, bajo mi supervisión.



Dr. Esteban Valencia
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.



Kevin Alejandro Pesantez Barragán



Dr. Esteban Alejandro Valencia Torres

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Marlene Esperanza Barragán Samaniego, quien me apoyo desde el primer día en entrar a la universidad, muchos de mis logros se los debo a ella, entre ellos incluye este, a mis compañeros y amigos que conocí a lo largo de la carrera que me han ayudado a superarme de manera personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por la vida que me dio, a mi madre y amigos mas cercanos, por ayudarme en todo momento, incluyendo a profesores de la FIM compartiendo su conocimiento y experiencia en cada clase impartida, a la Escuela Politécnica Nacional por brindar educación de excelencia.

Agradezco a los ingenieros e ingeniera del área de ingeniería mecánica y gerencia de proyectos que trabajan en la empresa donde realizo las pasantías, que me supieron brindar su ayuda para que este proyecto concluya.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1. Sistema de Montaje Fotovoltaico	2
1.4.2. Sistema de Montaje Fotovoltaico en suelo	3
1.4.3. Materiales.....	4
1.4.4. Corrosión.....	5
1.4.5. Estructura Modular.....	6
1.4.6. Placa Base	7
1.4.7. Cimentación y Pernos de Anclaje	8
1.4.8. Conexiones	8
1.4.9. Códigos y especificaciones de diseño	9
1.4.10. Definición de Métodos de Diseño	10
1.4.11. Análisis de Carga	10
2 METODOLOGÍA	12
2.1 Diseño del sistema	14
2.1.1. Antecedentes	14
2.2. Definición de la Estructura.....	14
2.2.1. Casa de la Calidad	15
2.2.2. Voz de Usuario	15
2.2.3. Voz de Ingeniero.....	15
2.2.4. Conclusión de Casa de la Calidad.....	16
2.2.5. Especificaciones Técnicas.....	17
2.3. Diseño Conceptual	17
2.3.1. Análisis Funcional.....	17
2.3.2. Definición de Módulos	17
2.3.3. Evaluación de Alternativas	18
2.3.4. Selección de Alternativa	22
2.4. Diseño de Materialización.....	23
2.4.1. Selección de Materiales.....	24
2.4.2. Recubrimiento contra corrosión.....	24
2.5. Asignación de cargas sobre la estructura.....	25
2.5.1. Cálculos de cargas	27
2.5.1.1. Cálculos de Correas	27
2.5.1.2. Cálculos de Vigas.....	30
2.5.1.3. Cálculos de Columnas.....	33
2.6. Simulación de Cargas sobre la Estructura.....	37
2.6.1. Desarrollo de Simulación.....	38
2.6.2. Asignación de Cargas.....	39

2.6.3. Simulación de cargas aplicadas	42
2.8. Diseño de Conexiones.....	45
2.8.1. Conexiones Soldadas.....	45
2.8.2. Conexiones Empernadas	47
2.9. Diseño de Cimentación.....	50
2.10. Costos	53
2.11. Planos del Sistema	55
3. Resultados, Conclusiones y Recomendaciones	55
3.1. Resultados	55
3.2. Conclusiones	58
3.3. Recomendaciones	60
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
REFERENCIAS	61
5. ANEXOS	64

Índice de figuras:

Figura 1. 1	Sistemas de montaje fotovoltaico.....	3
Figura 1. 2	Sistema de montaje al suelo.....	3
Figura 1. 3	Corrosión de Cimentación de acero.....	5
Figura 1. 4	Vigas metálicas en construcción.....	6
Figura 1. 5	Correas metálicas sobre vigas.....	7
Figura 1. 6	Perfilería de Aluminio.....	7
Figura 1. 7	Placa base para columna metálica.....	8
Figura 1. 8	Pernos de anclaje - Placa base y cimentación.....	8
Figura 1. 9	Zapatas de cimentación.....	8
Figura 1. 10	Conexión soldada.....	9
Figura 1. 11	Conexión empernada.....	9
Figura 1. 12	Zona Sísmica del Ecuador.....	11
Figura 2. 1	Diagrama de flujo para diseño de sistema de montaje fotovoltaico.....	13
Figura 2. 2	Zona de instalación del sistema fotovoltaico.....	14
Figura 2. 3	Definición del sistema de montaje.....	18
Figura 2. 4	Definición de módulos para diseño de sistema de montaje.....	18
Figura 2. 5	Selección de Alternativas para el diseño de sistema.....	22
Figura 2. 6	Módulos seleccionados para diseño de sistema.....	22
Figura 2. 7	Especificaciones técnicas de Paneles solares.....	23
Figura 2. 8	Geometría de Sistema de Montaje.....	23
Figura 2. 9	Perfil de velocidad del viento - Palora Morona Santiago.....	26
Figura 2. 10	Análisis de la carga del viento sobre estructura.....	27
Figura 2. 11	Área tributaria para aplicación de cargas de cubiertas.....	28
Figura 2. 12	Diagrama de viga apoyada en extremos y carga distribuida.....	29
Figura 2. 13	Perfil de Aluminio – Propuesto para Correa.....	29
Figura 2. 14	Diagrama de Viga apoyada y cargas puntuales.....	31
Figura 2. 15	Diagramas: Corte, Momento, Cargas – Viga.....	32
Figura 2. 16	Perfil de Aluminio – Propuesto para Viga.....	33
Figura 2. 17	Asignación de combinaciones de cargas.....	34
Figura 2. 18	Reacciones y momentos según el combo crítico.....	35
Figura 2. 19	Perfil seleccionado.....	35
Figura 2. 20	Configuración de columna - Factor de longitud efectiva.....	36
Figura 2. 21	Estructura del sistema.....	37
Figura 2. 22	Definición de nueva geometría de perfil, Elemento Correa.....	38
Figura 2. 23	Definición de nueva geometría de perfil, Elemento Viga.....	38
Figura 2. 24	Definición geometría de perfil, Elemento Columna.....	39
Figura 2. 25	Asignación de perfiles en elementos del sistema.....	39
Figura 2. 26	Carga muerta sobre la estructura.....	40
Figura 2. 27	Carga de viento sobre la estructura.....	40
Figura 2. 28	Mapa de zona sísmica del Ecuador.....	41
Figura 2. 29	Definición de Espectro sísmico PALORA.....	41
Figura 2. 30	Definición de factores de espectro sísmico.....	42
Figura 2. 31	Definición de cargas sísmicas X, Y.....	42
Figura 2. 32	Carga axial sobre placa base.....	43
Figura 2. 33	Geometría de Placa Base.....	43
Figura 2. 34	Soldadura de Columna - Placa Base.....	46
Figura 2. 35	Soldadura de Columna - Placa de sujeción Viga.....	47
Figura 2. 36	Geometría del cordón de soldadura.....	47
Figura 2. 37	Junta empernada Columna – Viga.....	48

Figura 2. 38	Esquema de reacciones Columna – Viga.....	48
Figura 2. 39	Junta empernada Viga – Correa	49
Figura 2. 40	Esquema de reacciones Viga – Correa	49
Figura 2. 41	Esquema de nivel freático	51
Figura 2. 42	Resultados de simulación de cargas	56
Figura 2. 43	Resultados de simulación de carga sísmica	56
Figura 2. 44	Asignación de factor de pórtico no arriostrado IMF	57
Figura 2. 45	Resultado de estabilidad de Columna – Posterior	57
Figura 2. 46	Resultado de estabilidad de Columna – Delantera.....	57

Índice de tablas

Tabla 1. 1 Simbología y notación de Cargas	10
Tabla 1. 2 Combinaciones de Carga por resistencia Ultima.....	10
Tabla 2. 1 Solución 1 - Columna, Placa Base.....	19
Tabla 2. 2 Solución 2 - Columna, Placa Base.....	19
Tabla 2. 3 Solución 3 - Columna, Placa Base.....	19
Tabla 2. 4 Solución 1 - Viga.....	20
Tabla 2. 5 Solución 2 - Viga.....	20
Tabla 2. 6 Solución 3 - Viga.....	20
Tabla 2. 7 Solución 1 - Correa.....	21
Tabla 2. 8 Solución 2 - Correa.....	21
Tabla 2. 9 Solución 3 - Correa.....	21
Tabla 2. 10 Propiedades de Acero	24
Tabla 2. 11 Propiedades de Aluminio	24
Tabla 2. 12 Comportamiento de Tratamiento de Galvanizado según región.....	25
Tabla 2. 13 Carga muerta - Diseño de Correa	27
Tabla 2. 14 Cargas - Diseño de Correa	28
Tabla 2. 15 Combinaciones de Cargas - Diseño de Correa.....	28
Tabla 2. 16 Condiciones de diseño - Correa.....	29
Tabla 2. 17 Geometría de Perfil de Aluminio - Propuesto (ANEXO#).....	30
Tabla 2. 18 Carga muerta - Diseño de Viga.....	30
Tabla 2. 19 Cargas - Diseño de Correa	30
Tabla 2. 20 Combinaciones de Cargas - Diseño de Correa.....	31
Tabla 2. 21 Condiciones de diseño - Viga	31
Tabla 2. 22 Carga muerta - Diseño de Columna.....	33
Tabla 2. 23 Cargas - Diseño de Columna.....	34
Tabla 2. 24 Combinaciones de Carga - Diseño de Columna	34
Tabla 2. 25 Propiedades de Acero y Factor de seguridad	35
Tabla 2. 26 Factores sísmicos del lugar de estudio - Palora Morona Santiago.....	41
Tabla 2. 27 Requerimientos de pórtico no arriostrado	43
Tabla 2. 28 Características del suelo - Diseño de Cimentación	51
Tabla 2. 29 Parámetros de diseño de cimentación	52
Tabla 2. 30 Costo de Materiales de estructura	53
Tabla 2. 31 Costo de elementos normalizados	54
Tabla 2. 32 Costo de mano de obra	54
Tabla 2. 33 Costo de protección galvánica	55
Tabla 2. 34 Costo total del sistema de montaje	55

RESUMEN

En Ecuador, la producción de pitahaya es reconocida en el mercado nacional e internacional por su excelente sabor, apariencia, calidad y propiedades nutricionales, la mayor producción de la fruta se encuentra ubicado en la Provincia de Morona Santiago, Cantón Palora, que, debido a su demanda en época de escasez, es necesario el uso de un sistema alternativo de producción y amigable al medio ambiente a través de un sistema energético de paneles fotovoltaicos que permita el crecimiento y maduración de la fruta de manera natural. El presente proyecto plantea el diseño de una estructura modular de montaje fotovoltaico para la instalación de paneles solares en el lugar de estudio.

Los sistemas fotovoltaicos a través de una configuración adecuada satisfacen el requerimiento energético para los sembríos.

Para el diseño de la estructura modular para el montaje de los paneles solares se toma en consideración los requerimientos del Cliente – Voz del Usuario y la voz del Ingeniero – Especificaciones Técnicas, con la propuesta de las diferentes alternativas de diseño hasta la selección de la mejor alternativa. Definido el diseño final, se continúa con el análisis estructural a través de la aplicación de cargas sobre la estructura bajo condiciones extremas de trabajo, estudio y diseño de cimentaciones, análisis datos geotécnicos del lugar de estudio, a través de softwares de diseño y simulación, presentando al final un análisis de costos totales de toda la estructura.

PALABRAS CLAVE: Pitahaya, Paneles solares, Sistemas de montaje, Diseño, Simulación, Estructuras metálicas.

ABSTRACT

In Ecuador, the production of pitahaya is recognized in the national and international market for its excellent flavor, appearance, quality and nutritional properties, the largest production of the fruit is located in the Province of Morona Santiago, Canton Palora, which, due to its demand in times of scarcity, it is necessary to use an alternative system of production and environmentally friendly through an energy system of photovoltaic panels that allows the growth and maturation of the fruit in a natural way. This project proposes the design of a modular photovoltaic assembly structure for the installation of solar panels in the study site.

The photovoltaic systems, through a suitable configuration, satisfy the energy requirements for the crops.

For the design of the modular structure for the mounting of the solar panels, the requirements of the Client - Voice of the User and the voice of the Engineer - Technical Specifications are taken into consideration, with the proposal of the different design alternatives until the selection of the best alternative. Once the final design is defined, we continue with the structural analysis through the application of loads on the structure under extreme working conditions, study and design of foundations, analysis of geotechnical data of the study site, through design and simulation software, presenting at the end a total cost analysis of the entire structure.

KEYWORDS: Pitahaya, Solar panels, Mounting systems, Design, Simulation, Metal structures.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En el presente proyecto se muestra el estudio realizado de diseño y simulación de una estructura modular de montaje fotovoltaico, con el fin de uso de una alternativa energética para la mejora de producción de pitahaya en la Provincia de Morona Santiago, Cantón Palora, para lo que se procede a realizar un análisis de cada una de los componentes que intervienen en el diseño del sistema, como análisis estructural – cargas sobre la estructura, cimentaciones, estudio de suelos (datos geotécnicos) y análisis de costos.

Se inicia con el reconocimiento del lugar de estudio, con toma de datos satelitales para la ubicación del terreno donde se plantea instalar el sistema fotovoltaico, seguido de los requerimientos del usuario para cada una de las plantaciones de Pitahaya, toma en cuenta la no simetría de cada una de las hileras de las plantaciones, se realiza un análisis energético para determinar la cantidad de paneles solares requeridos dentro del área de trabajo, procediendo a presentar una solución para la configuración adecuada requerida por el cliente dentro del terreno.

El diseño estructural se basa en el análisis de las cargas presentes en el sistema de montaje fotovoltaico, especificando cargas vivas, cargas muertas, combos a través de LRFD, diseñado a través de Autodesk Inventor y simulado en SAP 2000, con la elección de perfil adecuado y detalles de juntas, concluyendo con una presentación de planos conjunto de la estructura terminada y de la misma manera el detalle de juntas, placa base y elección de pernos de anclaje.

El resultado del presente proyecto es la presentación de planos y costos finales para la construcción por parte del usuario.

1.1 Objetivo general

Diseñar un sistema modular para Montaje Fotovoltaico

1.2 Objetivos específicos

1. Elaborar un trabajo investigativo para obtener el estado del arte y recopilación bibliográfica de sistemas de montaje fotovoltaico

2. Realizar el diseño estructural del sistema de montaje fotovoltaico para la configuración dentro del lugar de estudio.
3. Comparar las alternativas de diseño del sistema a ser implementado y seleccionar la mejor alternativa para el entorno del cultivo.
4. Determinar datos geotécnicos del lugar de estudio para el diseño de zapatas de cimentación del sistema de montaje
5. Presentar costos estimados en la construcción del sistema de montaje fotovoltaico, CAPEX y OPEX.

1.3 Alcance

El presente proyecto tiene como fin el diseño de un Sistema de Montaje Fotovoltaico para instalación del paneles solares para la mejora de producción de fruta en Delgado Pitahaya, mediante la recopilación de datos del lugar de estudio, como ubicación geográfica, altura de operación requerida, orientación e inclinación de los paneles, condiciones ambientales a la cual se encuentra, datos técnicos de suelo para el diseño de cimentaciones de la estructura, acompañado con la presentación de planos de construcción y ensamble de los elementos estructurales y estimación de costos de la estructura.

1.4 Marco teórico

En este ítem se sitúa la recopilación de información de Sistemas de Montaje Fotovoltaico para plantear cada una de las secciones considerables para el diseño.

1.4.1. Sistema de Montaje Fotovoltaico

Los sistemas de montaje fotovoltaico son conocidos como la instalación de componentes solares, este sistema de montaje es utilizado para instalar paneles solares en una superficie determinada, como en techos, fachadas de edificios, infraestructuras o directo al suelo, los sistemas de montaje solar generalmente están fabricados de diferentes materiales como plásticos, metales con aluminio, acero inoxidable, acero y materiales compuestos. (*¿Qué son los sistemas de montaje pv?, s. f.*)



Figura 1. 1 Sistemas de montaje fotovoltaico.

Fuente: (*Componentes y montaje de un sistema autoconsumo solar*, 2022)

1.4.2. Sistema de Montaje Fotovoltaico en suelo

Los sistemas de montaje fijados a tierra son utilizados para la instalación de paneles solares, usados en grandes centrales fotovoltaicas o huertas solares a campo abierto, donde la estructura de sujeción se mantiene en su lugar mediante bastidores, perfiles o marcos que están unidos a bases fijas a la superficie, los soportes de montaje a tierra incluyen dos tipos:

- Montado en poste, conducido directamente al suelo o insertado al hormigón.
- Monturas de cimentación, como losas de hormigón o cimientos vertidos.

Para el montaje en suelo toma en cuenta su orientación e inclinación, donde la célula solar funciona de mejor manera cuando su superficie es perpendicular a los rayos del sol, que cambian continuamente a lo largo del día o época del año. (*Sistema de montaje fotovoltaico – HiSoUR Arte Cultura Historia*, s. f.)



Figura 1. 2 Sistema de montaje al suelo.

Fuente: (*Sistema de montaje fotovoltaico – HiSoUR Arte Cultura Historia*, s. f.)

1.4.2.1. Ventajas y desventajas de sistema de montaje en suelo

La principal característica del montaje en suelo es que permite realizar las instalaciones dentro del lugar de trabajo, al ser un área dentro del campo, se tiene como ventajas: (*Sistema de montaje fotovoltaico – HiSoUR Arte Cultura Historia*, s. f.)

- Fácil acceso para tareas de mantenimiento y reparación

- Menos limitación de espacio en comparación de un sistema instalado en un tejado
- Los paneles se calientan menos al circular más aire
- No tiene la necesidad de retirar o reubicar los módulos fotovoltaicos en caso de tener que sustituir o reparar el tejado.
- Mejor eficiencia en orientación e inclinación de los paneles

Las principales desventajas de los sistemas de montaje en suelo son:

- Alto costo de instalación
- Más trabajo de mano de obra
- Es necesario el uso de elementos estructurales
- Uso de materiales extras (aluminio, acero, cemento)
- Gran impacto visual

1.4.3. Materiales

El uso de materiales en el sistema de montaje depende del diseño que sea establecido, al ser una estructura, toma en cuenta cada uno de sus elementos como columnas, vigas, correas, entre ellos pueden estar, acero galvanizado, perfiles de aluminio y bases de hormigón.

1.4.3.1. Acero Galvanizado

El acero galvanizado es un acero recubierto de zinc que le da alta resistencia a la corrosión, utilizado en la armadura del sistema que se encuentran en contacto con ambientes extremos, el recubrimiento del acero dependerá de las necesidades o las condiciones a los que serán expuestos los elementos estructurales. (Enkontrol, 2019)

1.4.3.2. Hormigón

Mezcla de diferentes materiales entre ellos, cemento, arena, piedras y agua, que presenta resistencia a la compresión y aguante a momentos de tracción a través de armados o tensados de varilla de acero en su interior, el uso en estructuras metálicas que, debido a cargas externas como vientos y terremotos, ayuda a la distribución de fuerzas hacia los yacimientos. (Colombia, s. f.-b)

1.4.3.3. Aluminio

Perfiles de aluminio usados en el área de la construcción gracias a sus condiciones de resistencia, durabilidad y bajo peso con características en fabricación de armazones o estructuras metálicas a través de sistemas modulares con la facilidad de ensamble con

secciones extremas de conexión por medio de elementos y accesorios de unión.

Este material permite sustituir las típicas estructuras de acero con uniones soldadas y reducción de tiempo al momento de ensamble y reducción de costos de fabricación.

(*¿Cuáles son las aplicaciones del aluminio estructural?*, 2019)

1.4.4. Corrosión

Proceso electroquímico que produce un desgaste del metal o aleación metálica al estar en contacto con el ambiente, la corrosión en el acero deteriora el hierro, produciendo la pérdida de características de dureza o resistencia. (Gordoa, 2021)



Figura 1. 3 Corrosión de Cimentación de acero.

Fuente: (*Corrosión del acero estructural. Dos casos reales – e-STRUC*, 2015)

1.4.4.1. Factores

La corrosión es producida al entrar en contacto el acero con el agua y un electrolito a través de:

- Oxígeno
- Humedad (lluvia, rocío, condensación)
- Temperatura
- Humedad relativa
- Partículas en aerosol (ambientes salinos) (PROMETAL®, s. f.)

1.4.4.2. Tipos de Corrosión

La corrosión se determina por las condiciones de entorno al que se encuentra expuesto el elemento metálico, entre ellas están la corrosión atmosférica, localizada, generalizada y galvánica. (*Tipos de corrosión y características | Grupo Suquimsa*, 2021)

1.4.4.3. Protección contra Corrosión

La necesidad de proteger la superficie de los elementos metálicos contra los daños que la corrosión provoca, las soluciones de protección de elementos de acero contra los efectos de la corrosión son: (*Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros*, s. f.)

- Uso de acero inoxidable

- Recubrimiento del metal con Zing (Celda galvanica – Acero galvanizado)
- Recubrimiento con plásticos especiales
- Recubrimiento con pinturas especiales

1.4.5. Estructura Modular

Planteamiento de diseño que fracciona un sistema general en partes más pequeñas llamadas módulos o plataformas, divididos de manera individual con una funcionalidad específica, para posterior la unión en un sistema completo, las interfaces modulares son bien definidas con el uso de normas de construcción. (*¿Qué es el diseño modular y cómo te beneficia?* | Algeco, s. f.)

1.4.5.1. Miembros estructurales

Elementos en las que se divide una estructura metálica, tiene un análisis de diseño y comprobación de resistencia dependiendo de los estados de carga a los que se encuentre trabajando, son columnas, vigas y correas. (arki2020, 2016)

1.4.5.1.1. Columna

Elemento que trabaja bajo cargas axiales de compresión, su geometría dependerá en transmitir los esfuerzos recibidos a las bases o yacimientos.

1.4.5.1.2. Viga

Elemento de forma horizontal que trabaja bajo cargas de flexión, la superficie inferior trabaja a tracción, y la superior a compresión, los esfuerzos axiales que actúan en el elemento están a una distancia del eje neutro que provoca un esfuerzo de momento flector. (*Vigas Metálicas - Construmatica*, s. f.)



Figura 1. 4 Vigas metálicas en construcción

Fuente: (*Encofrados de aluminio para losas Titan HV - Construcción (Maquinaria y Equipos) - Encofrados de aluminio para losas*, s. f.)

1.4.5.1.3. Correa

Elemento de sección liviana que es utilizado en estructuras metálicas, perfiles ligeros con capacidad de soporte de cubiertas y techos, estos perfiles pueden ser perforados para uso de pernos y evitar gastos de soldadura en obra. (Ruiz, 2017)



Figura 1. 5 Correas metálicas sobre vigas.

Fuente: (CORREAS G: Hierro: : Ferreteria Las Palmas : FERRETERIA, MATERIALES, DE, CONSTRUCCION, CUMBAYA, TUMBACO, NAYON, QUITO, ECUADOR, s. f.)

1.4.5.1.4. Perfiles de Aluminio

Elementos utilizados para propósitos estructurales, van de acuerdo con su construcción que ofrecen rigidez a tensiones de corte y torsión, presentan características de bajo peso muerto, absorción de cargas dinámicas y fácil transporte. («Perfiles de aluminio. Proceso y Productos», s. f.)



Figura 1. 6 Perfilería de Aluminio.

Fuente: (*Perfiles de aluminio para cargas pesadas*, s. f.)

1.4.6. Placa Base

Área de apoyo de columnas de una estructura sobre una zapata de hormigón, la fuerza resultante de la columna metálica es distribuida a través de la placa de acero. La geometría de la placa base, ancho, largo y espesor, se basan en el manual de la AISC – LRFD

El manual de AISC considera el efecto de la carga axial P_u actuante en la columna, que se trasmite a la cimentación, con la presión P_u/A en donde A es el área de la placa base. (*Placas base de columnas*, 2012)

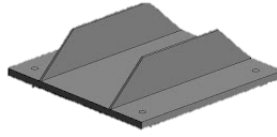


Figura 1. 7 Placa base para columna metálica.
Fuente: («PLACA DE ANCLAJE PARA REVIT STRUCTURE», s. f.)

1.4.7. Cimentación y Pernos de Anclaje

Elemento estructural apoyado en la superficie del suelo a poca profundidad que se unen unas con otras a través de cadenas de conexión, con la función de transmitir cargas de la estructura hacia el suelo, acompañado de un accesorio metálico embutido en el hormigón – perno de anclaje que se utiliza para fijar (Columna – Placa base), los pernos son de acero de bajo carbono A36, regidos bajo la norma ASTM F1554 de Grado 36, 55 y 105, pueden tener tratamiento de galvanizado o no, depende del requerimiento en obra. (Colombia, s. f.-a)

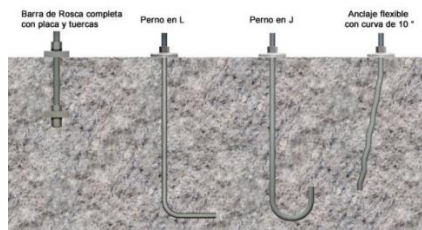


Figura 1. 8 Pernos de anclaje - Placa base y cimentación
Fuente: (Colombia, s. f.-a)

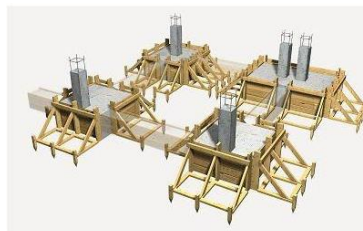


Figura 1. 9 Zapatas de cimentación
Fuente: (*Concepto y clasificación de las cimentaciones – El blog de Víctor Yepes, 2019*)

1.4.8. Conexiones

Unión de elementos en un solo nodo con el fin de transmitir esfuerzos a cada uno de los elementos, las conexiones pueden ser mediante soldadura y/o tornillos. (*Tipos de conexiones para estructuras de Acero | Sitio Oficial Gerdau Corsa, s. f.*)

1.4.8.1. Conexión Soldada

Unión de elementos metálicos estructurales por medio de soldadura mediante fusión superficial de los elementos en presencia de calor con o sin aporte de material agregado. (Orozco, s. f.)



Figura 1. 10 Conexión soldada
Fuente: (Andina, 2021)

1.4.8.1. Conexión Empernada

Unión de elementos estructurales entre sí a través de pernos, usado en elementos de sección angular, placas, canales. Los pernos usados en conexión son tornillos de cabeza hexagonal o avellanada, el material se basa bajo la norma ASTM que se clasifican en dos grupos, Grupo A: ASTM A325 y Grupo B: ASTM A490. («Pernos y conexiones atornilladas | SkyCiv Engineering», 2022)

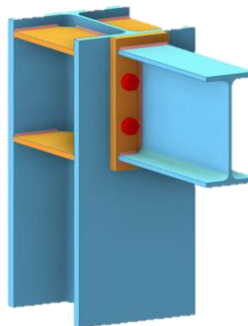


Figura 1. 11 Conexión empernada
Fuente: (*Uniones de acero | Dlubal Software*, s. f.)

1.4.9. Códigos y especificaciones de diseño

El sistema de montaje fotovoltaico seguirá las normas establecidas en el Ecuador, entre ellas están: Norma de energías renovables – Instalación de central fotovoltaica, Norma Ecuatoriana de Construcción NEC – Diseño Sísmico y Diseño en Hormigón, Manual de la AISC para el diseño de elementos metálicos, Manual de diseño de Estructuras de Aluminio.

1.4.10. Definición de Métodos de Diseño

El diseño del sistema de montaje sigue los criterios de diseño de la AISC, con las combinaciones de combos LRFD y diseño por esfuerzos permisibles ASD; para el diseño de elementos metálicos de Aluminio se guía en el Manual de diseño de estructuras de aluminio.

1.4.11. Análisis de Carga

Son fuerzas resultantes del peso propio de los elementos estructurales, accesorios extras sobre la estructura, condiciones climáticas que producen cargas sobre la estructura.

1.4.11.1. Simbología y Notación

La notación abreviada de las cargas se las representa de la siguiente manera:

Tabla 1. 1 Simbología y notación de Cargas

Simbología	
D	Carga Muerta
E	Carga Sísmica
L	Carga Viva
Lr	Carga Viva – Cubierta
R	Carga de Lluvia – Agua
W	Carga de Viento

1.4.11.2. Factores de Carga

Consiste en el incremento de las cargas que están definidos en función de las cargas permanentes (Carga Muerta) y cargas variables (Carga Viva), que serán multiplicados por un factor que las sobredimensione. (*NEC-SE-CG,2015*)

Tabla 1. 2 Combinaciones de Carga por resistencia Última.

Combinaciones de Carga por resistencia última	
1	1,4D
2	1,2D + 1,6L + 0,5max (Lr, S, R)
3	1,2D + 1,6max (Lr, S, R) + max (L, 0,5W)
4	1,2D + 1,0W + L + 0,5max (Lr, S, R)
5	1,2D + 1,0E + L + S
6	0,9D + 1,0W
7	0,9D + 1,0E

1.4.11.3. Carga Muerta

Cargas fija o permanente, en donde se toma en cuenta el peso de cada uno de los elementos del sistema estructural como columnas, vigas, correas, módulos fotovoltaicos. (NEC-SE-CG,2015)

1.4.11.4. Carga Viva

Cargas que pueden variar en el tiempo que se encuentren sobre la estructura, la conforman el peso de las personas, accesorios temporales, equipamiento. (NEC-SE-CG,2015)

1.4.11.5. Carga de Viento

El viento es considerado una carga externa que ejerce presión sobre la estructura, la condiciones del viento dependerá de la densidad y velocidad a la que se encuentre circulando el aire, ángulo de incidencia y rugosidad de la superficie. Al ser una estructura fija, el comportamiento del viento va a tener caídas de presión a los lados que actúa de barlovento y sotavento en la estructura. (NEC-SE-CG,2015)

1.4.11.6. Carga de Sismo

Es una carga externa debido al movimiento de la superficie que provoca desplazamientos en las bases de la estructura y cimentaciones, que afecta la integridad de esta, por lo que será considerado el factor de importancia del lugar de estudio que permita controlar el evento y adecuando la geometría de la estructura. (NEC-SE-DS,2015)

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-DS con diseño sísmico se establece el lugar de ejecución del proyecto.

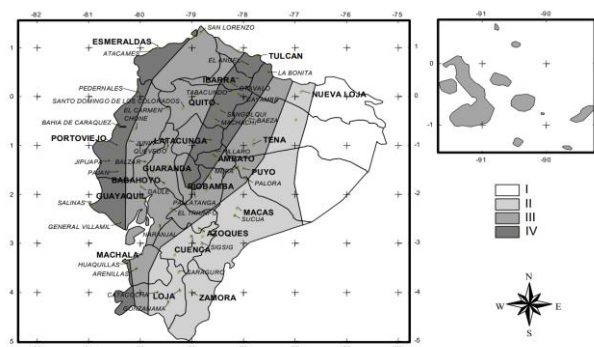


Figura 1. 12 Zona Sísmica del Ecuador
Fuente: (NEC-SE-CG,2015)

2 METODOLOGÍA

En el presente capítulo se realiza las actividades definidas en los objetivos planteados en un principio, con el fin de llevar a cabo cada uno de ellos para finalizar con buenos resultados.

El componente está estructurado con recopilación de información, análisis de diseño estructural y cálculo de costos totales del sistema de montaje fotovoltaico, tomando en cuenta cada una de las actividades planteadas.

Comenzando con un resumen de la base teórica en la que se encuentra justificados las variables necesarias como son datos técnicos referenciales para el diseño y cálculos de la estructura con referencia a las propiedades de los materiales a ser utilizados, recopilación de propiedades del suelo para el diseño de cimentación.

Al completar la parte de investigación y recopilación de información necesaria para el diseño de la estructura, se procede con la fase de diseño estructural del montaje, en la que se implementa Software de diseño – Autodesk Inventor, y simulación en SAP 2000.

Seguido de un análisis de resultados de simulación del sistema, para el diseño de cimentaciones con la resultante hallada en el software de simulación. (Flórez Millán et al., 2014)

Culminando con la elaboración de planos mecánicos con información necesaria con detalles geométricos que corresponde al sistema de montaje para su construcción y ensamble y su análisis de costos totales del sistema. (Riba, s. f.)

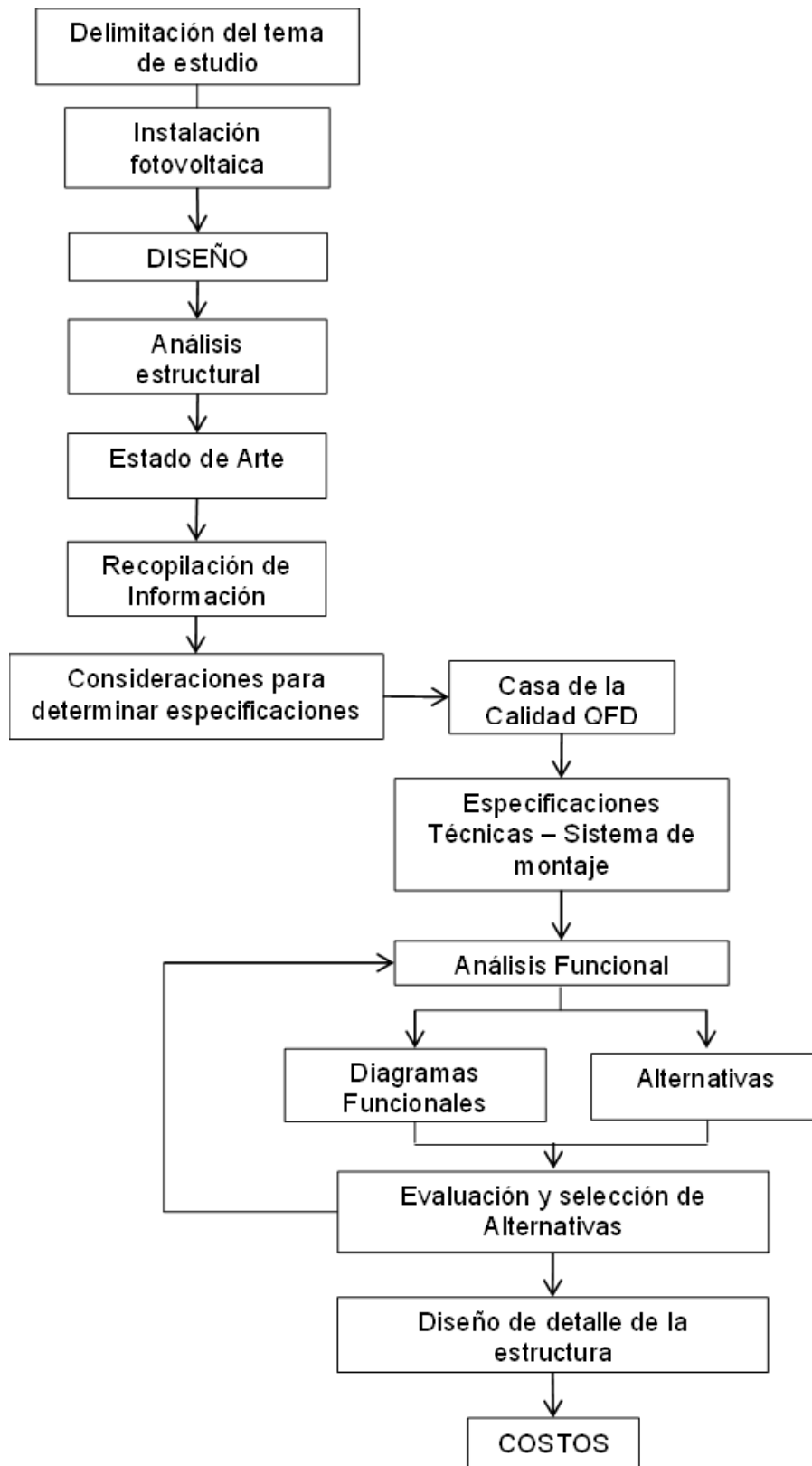


Figura 2. 1 Diagrama de flujo para diseño de sistema de montaje fotovoltaico
Fuente: Propia

2.1 Diseño del sistema

La topografía del Ecuador permite un elevado potencial para el uso de energías renovables como la fotovoltaica, como es el caso en la Provincia de Morona Santiago, cantón Palora se requiere implementar el uso de un sistema fotovoltaico, previo al estudio de balance energético en la zona de estudio para la selección de módulos fotovoltaicos, posteriormente el diseño estructural del sistema para el montaje y sujeción de los módulos fotovoltaicos está basado en los criterios de la NEC – Norma Ecuatoriana de la Construcción – Capítulo 14 inciso número 2, Energías renovables – Estructura de soporte del SFV (Sistema Fotovoltaico), que detalla los años de servicio de la estructura, resistencia a la velocidad del viento y detalles de conexión de la estructura. (*Ecuador actualiza el Bloque de Energías Renovables Ministerio de Energía y Minas, s. f.*)

2.1.1. Antecedentes

El uso de energías renovables en Ecuador abarca un estudio de balance energético y análisis estructural, para el proyecto que busca mejorar la producción de fruta – pitahaya, requiere el diseño estructural para el sistema de montaje de paneles solares en la empresa Delgado Pitahaya, que se encuentra ubicada en el Cantón Palora – Provincia de Morona Santiago, al suroriente del país.

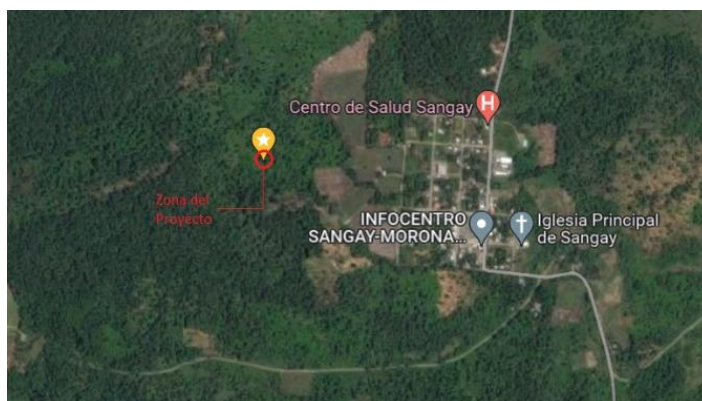


Figura 2. 2 Zona de instalación del sistema fotovoltaico.
Fuente: Google Maps

2.2. Definición de la Estructura

La fase de diseño tiene como meta cumplir los objetivos planteados y mostrar cada una de las especificaciones técnicas requerida, que serán desarrolladas en este componente para el sistema de montaje.

La instalación del sistema de montaje se realizará junto a los accesos de las hileras de las plantaciones de pitahaya.

2.2.1. Casa de la Calidad

Las especificaciones técnicas del sistema de montaje se determinan a través de la casa de la calidad, QFD, que plasma las necesidades del usuario en el producto final, para realizar la casa de la calidad es necesario conocer y recopilar los requerimientos del usuario que serán interpretados y transformados en requisitos técnicos del producto.

2.2.2. Voz de Usuario

Hace referencia a las necesidades, requerimientos o expectativas que expresa el usuario en relación con el ingeniero para diseñar un determinado producto.

De acuerdo con las ideas dadas por el usuario, el sistema de montaje fotovoltaico debe cumplir con:

- Fácil transporte
- Fácil montaje
- Bajo costo
- Estructura segura
- Fácil mantenimiento
- Buena calidad
- Resistente al ambiente húmedo
- Liviana
- No se deteriore con el tiempo

2.2.3. Voz de Ingeniero

Se basa en la información recopilada por parte del usuario, que se traducen en requerimientos técnicos por parte del ingeniero, de acuerdo con la información proporcionada se tiene que la estructura debe cumplir con:

- Estructura modular
- Peso de estructura
- Protección a la corrosión
- Factor de seguridad
- Cantidad de paneles
- Unión de elementos estructurales
- Resistencia del material

2.2.4. Conclusión de Casa de la Calidad

La casa de la calidad mostrada en el ANEXO 1. se realizó con la información requerida por parte del cliente y las especificaciones técnicas proporcionadas por el ingeniero, análisis propuestos por Carles Riba. En el detalle de la casa de la calidad se evalúa el grado de cumplimiento con empresas del extranjero que se dedican a la elaboración y venta de montajes para paneles solares, buscando una cercanía en resultados obtenidos y comparados con la competencia.

Una vez realizada la evaluación de la casa de la calidad se tienen características importantes para el diseño estructural del sistema de montaje, los requerimientos técnicos son:

- 1. Resistencia del material**

Lograr que los elementos estructurales del sistema sean resistentes a las cargas externas a las que será expuesto en campo.

- 2. Factor de seguridad**

Brindar la seguridad para el cliente, tanto con la estructura y la cimentación donde será apoyada la estructura.

- 3. Peso de estructura**

Cumplir las expectativas del cliente con el fácil transporte de los elementos, y obtenga bajo peso muerto.

- 4. Protección a la corrosión**

Protección dada a las columnas de acero a través de un baño en caliente de galvanizado para larga duración del material en el ambiente al cual será expuesto.

- 5. Unión de elementos de la estructura**

Accesorios como pernos, arandelas, tuercas, que sean resistentes al ambiente húmedo expuesto, como acero inoxidable o galvanizado.

- 6. Estructura modular**

Cumplir los requerimientos de fácil ensamble y transporte al momento de instalar el sistema en campo.

- 7. Cantidad de paneles**

Cumplir un límite máximo de módulos fotovoltaicos a ser utilizados según el requerimiento energético.

Los parámetros están relacionados con la calidad y el fácil montaje en campo, las especificaciones técnicas se encuentran independientes entre sí, pero el más importante es evitar la corrosión de los elementos en el sistema.

2.2.5. Especificaciones Técnicas

Con los resultados obtenidos en el análisis de la casa de la calidad se definen las especificaciones necesarias a ser consideradas en el diseño del sistema de montaje, presentadas en el ANEXO II.

2.3. Diseño Conceptual

Una vez detallada cada una de las especificaciones técnicas con las necesidades requeridas, se procede a la generación de opciones de diseño que serán evaluadas y seleccionar la que mejor se adecúe a los requerimientos.

El diseño conceptual es un proceso creativo para solucionar un problema, a través del razonamiento, en la generación de ideas que se denomina concepto de diseño, que es parte del desarrollo del diseño. (*INGENIERIA DEL DISEÑO - Diseño conceptual*, s. f.)

2.3.1. Análisis Funcional

Con el análisis funcional se busca obtener varias alternativas de diseño con la geometría necesaria, dividiendo en varios módulos e interfases según las funciones que cumplan cada uno de los elementos de la estructura, para posterior determinar una solución adecuada que cumplan las funciones e interacciones entre módulos. (CARLES RIBA)

2.3.2. Definición de Módulos

Los módulos corresponden a la división en cada uno de los bloques que cumplen con una funcionalidad determinada del producto (estructura), la modularidad del sistema permite reducir costos, fácil mantenimiento y ensamble.

Los elementos del sistema de montaje cumplen varias funciones, por lo que es necesario la división modular.

Al estudiar el diagrama se establecen las principales funciones en Nivel 0:



Figura 2. 3 Definición del sistema de montaje.
Fuente: Propia

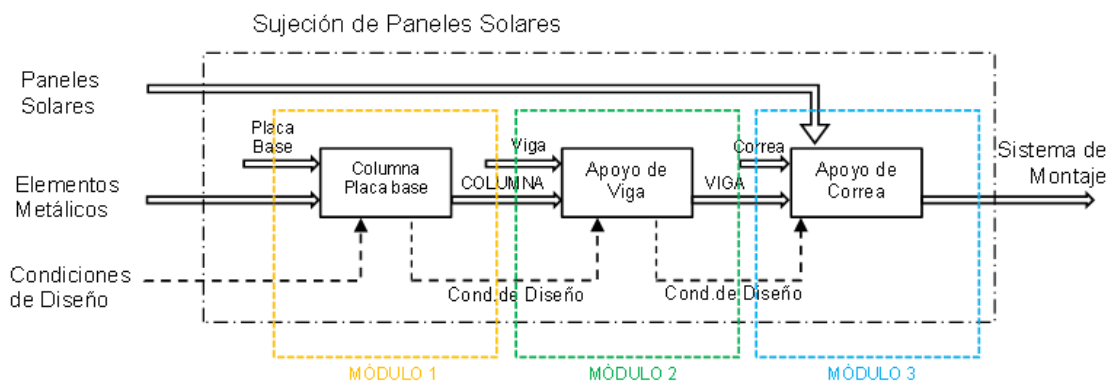


Figura 2. 4 Definición de módulos para diseño de sistema de montaje.
Fuente: Propia

El sistema de montaje presenta cada uno de los módulos que cumplen una función específica para cumplir con la idea principal de la sujeción de paneles solares del sistema de montaje:

- MÓDULO 1. Columna y placa base
- MÓDULO 2. Viga
- MÓDULO 3. Correa

Los módulos establecidos cumplen con la condición de diseño, al tratarse de unión de elementos estructurales, se los analizara por juntas y conexiones soldadas o empernadas.

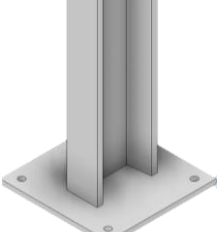
2.3.3. Evaluación de Alternativas

- **MÓDULO 1. Columna y placa base**

El primer módulo contiene al elemento de forma vertical que tiene la función de soportar fuerzas de compresión, flexión que serán transmitidas a las cimentaciones.

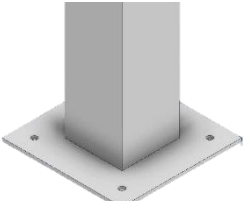
Solución 1.

Tabla 2. 1 Solución 1 - Columna, Placa Base. Fuente: Propia

Columna (Viga UPN) y Placa Base 	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Costo de mano de obra Fácil revestimiento a corrosión Rigidez Uniones simples - soldadura	Costo de mano de obra y material Peso Manejo complicado Corrosión

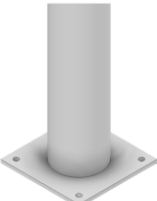
Solución 2.

Tabla 2. 2 Solución 2 - Columna, Placa Base. Fuente: Propia

Columna (Tubo Cuadrado) y Placa Base 	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Flexible - Fácil manejo Costo de mano de obra y material Bajo peso Buen apoyo de soldadura	Corrosión

Solución 3.

Tabla 2. 3 Solución 3 - Columna, Placa Base. Fuente: Propia

Columna (Tubo Circular) y Placa Base 	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Flexible - Fácil manejo Bajo Peso Costo de mano de obra Costo de material	Corrosión Apoyo de pie de soldadura


Los detalles de la evaluación de la alternativa (MÓDULO 1. Columna y placa base) se encuentran en el ANEXO III

- **MÓDULO 2. Viga**

El segundo módulo contiene al elemento de forma horizontal e inclinada que se encuentra apoyado en 2 puntos sometido a esfuerzos de flexión que producen tensiones de compresión y tracción en las superficies superior e inferior respectivamente.


Solución 1.

Tabla 2. 4 Solución 1 – Viga Fuente: Propia

Tubo rectangular de Acero	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Flexible - Fácil manejo Tratamiento contra corrosión Costo de mano de obra y material Bajo peso Buen apoyo de soldadura	Corrosión Unión con otro elemento

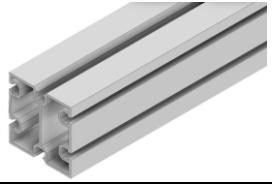
Solución 2.

Tabla 2. 5 Solución 2 – Viga Fuente: Propia

Tubo Cuadrado de Acero	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Flexible - Fácil manejo Tratamiento contra corrosión Costo de mano de obra y material Bajo peso Buen apoyo de soldadura	Corrosión Unión con otro elemento

Solución 3.

Tabla 2. 6 Solución 3 - Viga Fuente: Propia

Perfilería de Aluminio	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Flexible - Fácil manejo No se Corroe Bajo costo de mano de obra Bajo peso Fácil conexión empernada	Costo

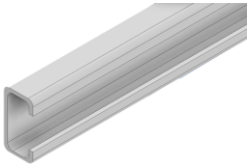
Los detalles de la evaluación de la alternativa (MÓDULO 2. Viga) se encuentran en el ANEXO IV

- **MÓDULO 3. Correa**

El tercer módulo pertenece al elemento de forma horizontal, encargado de soportar paneles o cubiertas y de repartir las cargas en toda la estructura.

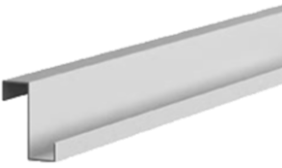
Solución 1.

Tabla 2. 7 Solución 1 – Correa Fuente: Propia

Correa tipo C	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Flexible - Fácil manejo Tratamiento contra corrosión Costo de mano de obra y material Bajo peso Buen apoyo de soldadura	Corrosión Unión con otro elemento

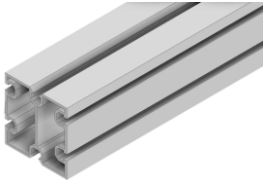
Solución 2.

Tabla 2. 8 Solución 2 – Correa Fuente: Propia

Correa tipo Z	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Flexible - Fácil manejo Tratamiento contra corrosión Costo de mano de obra y material Bajo peso Buen apoyo de soldadura	Corrosión Unión con otro elemento

Solución 3.

Tabla 2. 9 Solución 3 - Correa Fuente: Propia

Perfilería de Aluminio	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Flexible - Fácil manejo No se Corroe Bajo costo de mano de obra Bajo peso Fácil conexión empernada	Costo

Los detalles de la evaluación de la alternativa (MÓDULO 3. Correa) se encuentran en el ANEXO V.

Al realizar la evaluación por criterios ponderados, se define los criterios más importantes para el diseñador como son: Costo, Peso, Conexiones (Unión de elementos) y Recursos (Disponibilidad en mercado), los mismos que serán evaluados de 1, 0.5 y 0 con criterio de importancia, con lo más relevante hasta menos importante respectivamente; concluyendo con la suma de cada uno de los valores para obtener el equivalente a cada criterio en función del valor total que se encontró.

2.3.4. Selección de Alternativa

A continuación, se indica el arreglo realizado de las alternativas evaluadas a través de la matriz morfológica del sistema, para la creación del diseño en general.

FUNCION (ELEMENTO)		ALTERNATIVA		
PÓRTICO	Pilar apoyo de estructura (COLUMNA)	VIGA UPN	TUBO CUADRADO	TUBO CIRCULAR
	Apoyo sobre Columna (VIGA)	TUBO CUADRADO	TUBO RECTANGULAR	PERFILERIA ALUMINIO
	Apoyo de Panel (CORREA)	CORREA TIPO C	CORREA TIPO Z	PERFILERIA ALUMINIO

Figura 2. 5 Selección de Alternativas para el diseño de sistema
Fuente: Propia

A través de cada uno de los módulos evaluados de manera ordinal, se tiene como solución de las alternativas propuestas con mayor prioridad son:

- Columna - Placa base: Solución 2 – Tubo Cuadrado
- Viga: Solución 3 – Perfilería de Aluminio
- Correa: Solución 3 – Perfilería de Aluminio

La unión de cada uno de los módulos elegidos tiene como solución al sistema de montaje modular para los paneles solares presentado un modelo virtual a través de Autodesk Inventor.

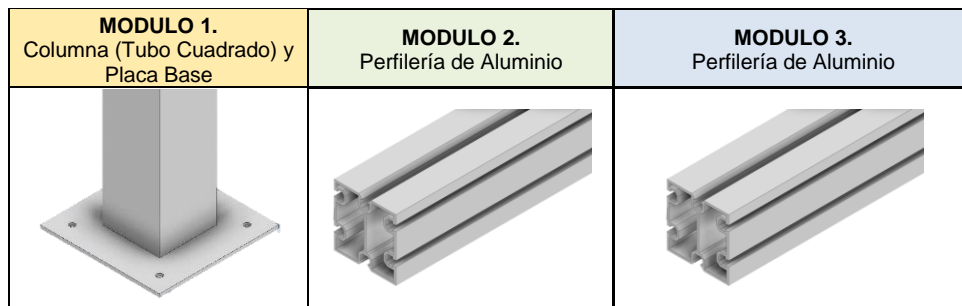


Figura 2. 6 Módulos seleccionados para diseño de sistema
Fuente: Propia

2.4. Diseño de Materialización

Se desarrolla la geometría requerida de cada uno de los elementos de la estructura como son (altura de columna, longitud de viga y longitud de correa), que cumpla los requerimientos, para la instalación máxima de 8 paneles sobre la estructura.

Especificaciones técnicas del panel solar

Características mecánicas del panel solar:

Dimensiones: 2008x1002x40 mm (79.06x39.45x1.57 in)

Peso: 22.5 kg (49.6 lbs)

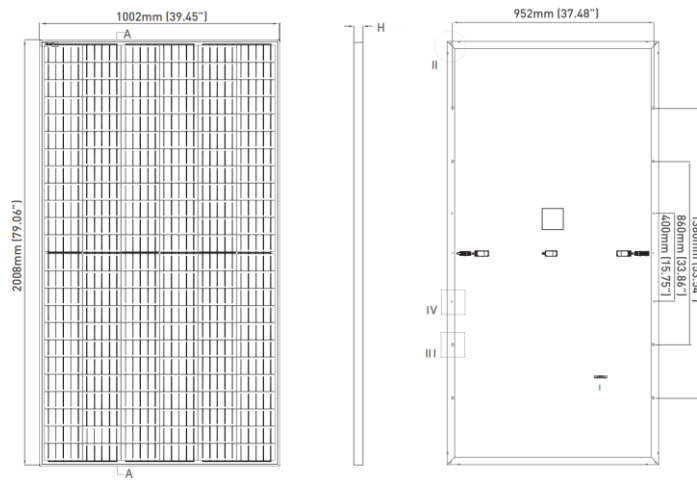


Figura 2. 7 Especificaciones técnicas de Paneles solares
Fuente: Solar Jinko

Geometría del sistema de montaje

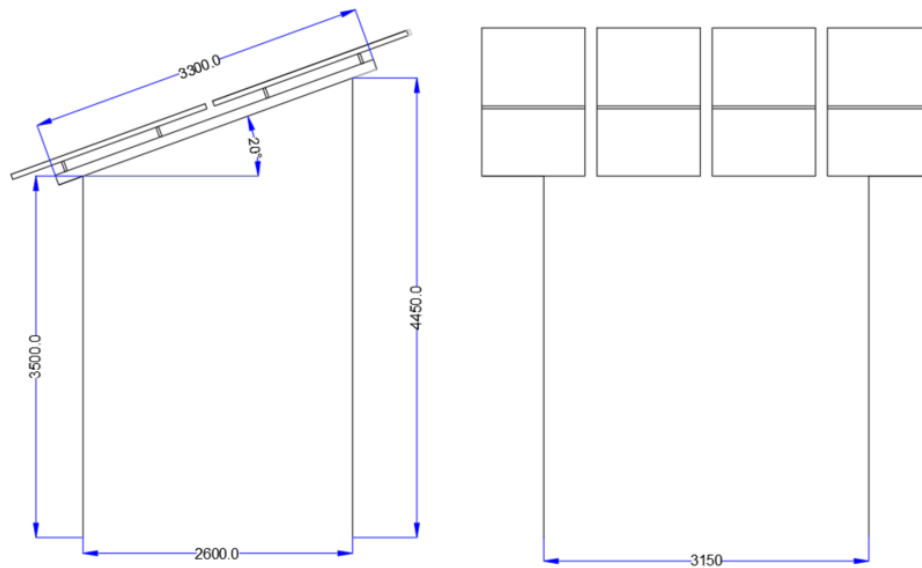


Figura 2. 8 Geometría de Sistema de Montaje
Fuente: Propia

2.4.1. Selección de Materiales

La estructura al estar en contacto con un ambiente húmedo es necesario utilizar materiales resistentes a la corrosión, de acuerdo a los resultado de las soluciones de cada módulo se establece el material de cada elemento estructural, elemento columna Acero (ASTM – A36) con recubrimiento galvánico, elementos vigas y correas de Aluminio (6061 – T6).

Tabla 2. 10 Propiedades de Acero

ACERO ASTM A-36 d = 7.84 g/cm ³	
Propiedad	Unidades
Límite de Fluencia	250 [MPa]
Módulo de Elasticidad - E	200 [GPa]

Tabla 2. 11 Propiedades de Aluminio

ACERO ALUMINIO 6061 T d = 2.7 g/cm ³	
Propiedad	Unidades
Límite de Fluencia	276 [MPa]
Módulo de Elasticidad - E	68.9 [GPa]

2.4.2. Recubrimiento contra corrosión

El recubrimientos para estructuras de acero se toma en cuenta el tipo de aplicación y duración requerida, como aplicación de pinturas y galvanizado por inmersión en caliente, la estructura se encuentra expuesta a un ambiente húmedo y lo más conveniente es el uso de protección galvánica, ya que presenta los siguientes puntos importantes:

- Duración de protección extremadamente alta
- Bajo costo – económico
- Triple protección: Protección Barrera, Protección Catódica, Protección por los productos de oxidación de Zinc.
- Fiabilidad
- Protección uniforme
- Resistencia a la abrasión

Tabla 2. 12 Comportamiento de Tratamiento de Galvanizado según región

Condiciones	Galvanizado por Inmersión en caliente	Acero Patinable
Litoral (costa)	Buena protección contra la corrosión en ambiente salino.	Baja protección, cloruros causan corrosión por picadura y corrosión acelerada pudiendo comprometer la integridad del acero.
Agentes Químicos (aertransportados)	Buena protección contra la corrosión. Los químicos son agresivos para el galvanizado pero solo después de varios años el recubrimiento de zinc se consumirá completamente.	Baja protección, hay un consumo acelerado de la pátina formada y el acero se corroe similar a un acero ordinario sin protección.
Vegetación	Excelente protección contra la corrosión.	Humedad puede acelerar la corrosión especialmente en empalmes o juntas.
Industria Eléctrica	Ampliamente usado, no hay riesgo de arcos eléctrico.	Los productos de la corrosión causan arcos eléctricos.
Alta humedad	Excelente protección contra la corrosión. La pátina de zinc estable no es afectada por estas condiciones	Baja protección contra la corrosión. Existe una corrosión acelerada bajo estas condiciones.

Fuente: American Galvanizers Association

2.5. Asignación de cargas sobre la estructura

El sistema de montaje se encuentra al ambiente expuesta a fuerzas externas, tanto en cargas dinámicas y cargas estáticas, que se distribuyen por cada uno de los elementos de la estructura, las cargas son:

- **Carga Muerta (D):** Carga permanente que consiste en el peso total de la estructura con sus elementos y accesorios.
-
- **Carga Viva (L):** De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción corresponde a 0.59kN/m² al ser una estructura con cierto grado de inclinación de la cubierta.
-
- **Carga de viento (W):** Se considera la ubicación donde se instala la estructura y determinar la velocidad corregida del viento en función de la velocidad máxima de la zona – Palora.

Los datos obtenidos a través de WEATHERSPARK, la velocidad promedio del viento en el cantón Palora tiene un valor de 5.3 km/h – (1.47 m/s), menor al valor, donde el diseño de la estructura debe cumplir con soportar la velocidad del viento de al menos 100 km/h. (NEC-11 Cap.14 – Energías Renovables)

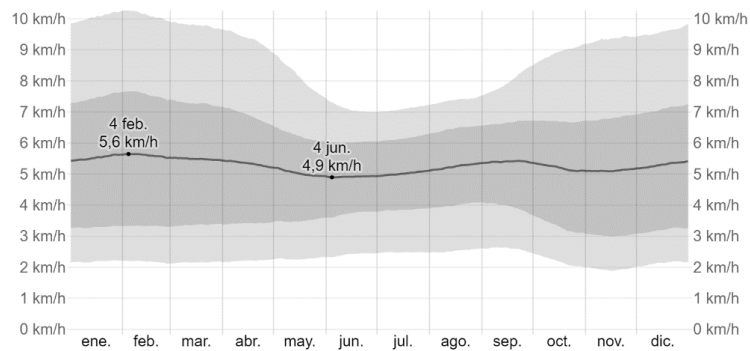


Figura 2. 9 Perfil de velocidad del viento - Palora Morona Santiago
Fuente: WEATHERSPARK

$$Vb = V * \sigma$$

Ec. 2. 1

$V =$ Velocidad maxima del viento $\left[\frac{m}{s}\right]$

$\sigma =$ Coeficiente de correccion [0.91]

Corresponde a una estructura 5[m]de altura ANEXO 1

$$Vb = 27.78 * 0.91 = 25.28 \text{ m/s}$$

Presión de viento

$$P = \frac{1}{2} * \rho * Vb^2 * Ce * Cf$$

Ec. 2. 2

$P =$ Presión de viento [Pa]

$\rho =$ Densidad del aire $[kg/m^3]$ – Condiciones ambientales del lugar

$T = 27^{\circ}C$

Humedad = 69%

Presión barométrica = 1014 mb

$\rho = 1.063 [kg/m^3]$

$Ce =$ Coeficiente entorno – altura

(terreno abierto sin obstaculos = 1.93) ANEXO 1

$Cf =$ Coeficiente de forma = 1.3 ANEXO 1

$Vb =$ Velocidad del viento [m/s]

$$P = 852.23 [Pa]$$

La cubierta de la estructura tiene una inclinación de 20° con la superficie, la componente a ser considerada es la aplicada de manera perpendicular, por lo que se descompone la presión en x, y.

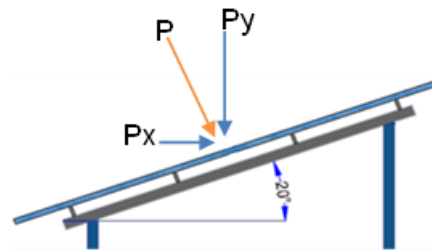


Figura 2. 10 Análisis de la carga del viento sobre estructura

$$Py = P * \cos (20^\circ)$$

$$Py = 800.83 [Pa]$$

$$Px = P * \sin (20^\circ)$$

$$Px = 291.48 [Pa]$$

- **Carga de Sismo (Q):** Se toma en cuenta la ubicación de donde se va a realizar el proyecto, la NEC-SE-DS sección 3, establece la carga sísmica y condición del suelo, todo el territorio ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta.

Zonas sísmicas y curvas de peligro sísmico

1. Factor de Zona (Z): Representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. (Fuente: NEC-SE-DS).

Valor factor Z = 0.30 – Representa a la zona sísmica III

2.5.1. Cálculos de cargas

El análisis de cargas de cada uno de los elementos de la estructura se los realiza de manera individual.

2.5.1.1. Cálculos de Correas

Carga Muerta (D).

El peso de los paneles y accesorios define la carga sobre cada una de las correas del sistema, la carga de los 8 paneles es analizada en la superficie de apoyo de las correas, los valores son:

Tabla 2. 13 Carga muerta - Diseño de Correa

Paneles	Accesorios	Unidades
0.12	0.05	[kN/m ²]

Combos de Cargas

Tabla 2. 14 Cargas - Diseño de Correa

Cargas			
MUERTA	D	0.17	[kN/m ²]
VIVA	L	0.59	[kN/m ²]
VIENTO	W	0.80	[kN/m ²]

Tabla 2. 15 Combinaciones de Cargas - Diseño de Correa

CORREA		
COMBINACION DE CARGAS		
1	0.24	[kN/m ²]
2	1.21	[kN/m ²]
3	0.80	[kN/m ²]
4	1.66	[kN/m ²]
5	0.80	[kN/m ²]
6	0.95	[kN/m ²]
7	0.15	[kN/m ²]

Dimensión del elemento – Correa

Al tomar en cuenta la combinación más crítica, se transforma a una carga distribuida sobre el elemento que toma en cuenta el área tributaria, que consiste en la distancia entre correas.

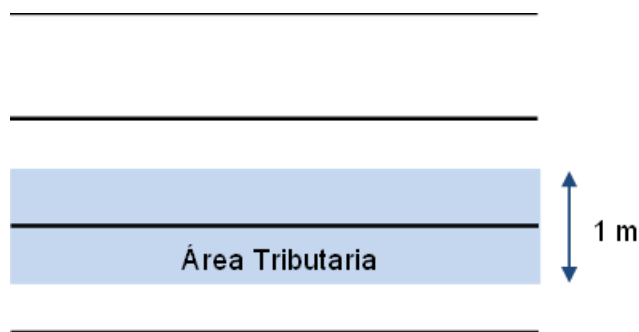


Figura 2. 11 Área tributaria para aplicación de cargas de cubiertas.
Fuente: Propia

$$q = 1.66 \text{ [kN/m}^2\text{]} * 1\text{m}$$

$$q = 1.66 \text{ [kN/m]}$$

Se considera que la correa se encuentra como viga con 2 apoyos simples.

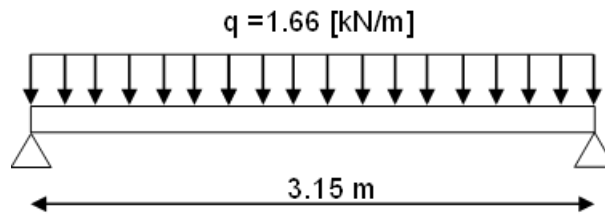


Figura 2. 12 Diagrama de viga apoyada en extremos y carga distribuida
Fuente: Propia

Tabla 2. 16 Condiciones de diseño - Correa

Condiciones de Diseño		
Combo Critico	1.66	[kN/m ²]
Separación de correa	1	[m]
Carga distribuida – q	1.66	[kN/m]
Longitud de Correa – L	3.15	[m]
Límite de fluencia Al – Fy	276	[MPa]
Esfuerzo admisible –Al – Fb	165.6	[MPa]

$$Mu = q * L^2 / 8 \quad \text{Ec. 2. 3}$$

$$Mu = 2.05 \text{ [kN * m]}$$

$$Sxx = \frac{M}{Fb} \quad \text{Ec. 2. 4}$$

$$Sxx = 12.38 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Sxx = 12.38 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Parámetros geométricos – Perfil propuesto

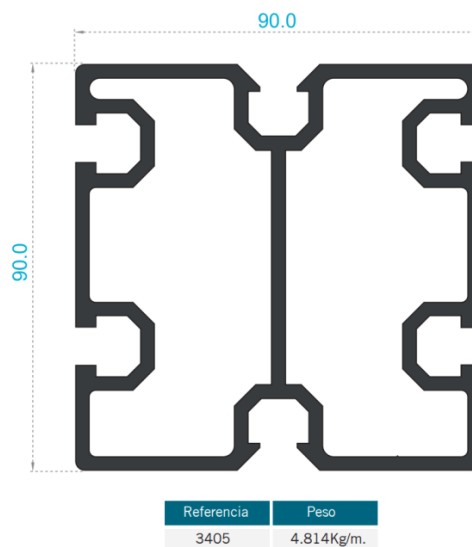


Figura 2. 13 Perfil de Aluminio – Propuesto para Correa
Fuente: Cedal Aluminio

Tabla 2. 17 Geometría de Perfil de Aluminio - Propuesto (ANEXO#)

	[mm⁴]	[cm⁴]
Ixx	1806728.44	180.67
Jyy	1811107.93	181.11
	[mm]	[cm]
X	47.20	0.47
Y	47.63	0.48
	[mm³]	[cm³]
Wx	38278.14	382.78

Los detalles de la geometría del perfil propuesto se encuentran en el ANEXO XVII. a través de análisis de propiedades físicas realizado en AutoCAD.

2.5.1.2. Cálculos de Vigas

Carga Muerta (D).

La carga muerta para el cálculo de vigas abarca el peso de los paneles solares, accesorios y correas; la carga de los elementos son las 4 correas de 4.4 m cada una, el peso del perfil de aluminio es de 4.814 [kg/m].

$$Carga (correas) = 4.814 \left[\frac{kg}{m} \right] * 4 * 4.4m * \left(\frac{1}{4.4m * 3.15m} \right) * 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * \frac{1[kN]}{1000[N]}$$

$$Carga (correas) = 0.06 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Tabla 2. 18 Carga muerta - Diseño de Viga

Paneles	Accesorios	Correas	Unidades
0.12	0.05	0.06	[kN/m ²]

Compos de Cargas

Tabla 2. 19 Cargas - Diseño de Correa

Cargas			
MUERTA	D	0.23	[kN/m ²]
VIVA	L	0.59	[kN/m ²]
VIENTO	W	0.80	[kN/m ²]

Tabla 2. 20 Combinaciones de Cargas - Diseño de Correa

VIGA		
COMBINACION DE CARGAS		
1	0.32	[kN/m ²]
2	1.28	[kN/m ²]
3	0.87	[kN/m ²]
4	1.73	[kN/m ²]
5	0.87	[kN/m ²]
6	1.01	[kN/m ²]
7	0.21	[kN/m ²]

Dimensión del elemento – Viga

Para determinar la sección del perfil de la viga, se determinan cargas puntuales ejercidas por las correas hacia las vigas.

Cargas puntuales

$$q = 1.73 \left[\frac{kN}{m^2} \right] * 4.4[m] * 1[m]$$

$$q = 7.60 [kN]$$

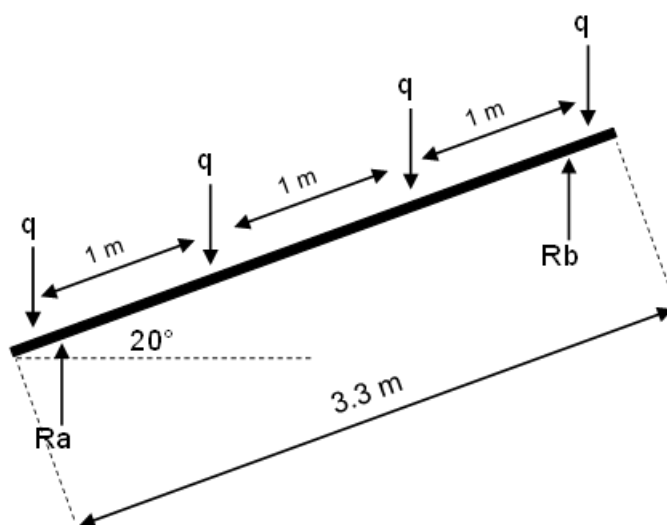


Figura 2. 14 Diagrama de Viga apoyada y cargas puntuales
Fuente: Propia

Tabla 2. 21 Condiciones de diseño - Viga

Condiciones de Diseño		
Combo Critico	1.73	[kN/m ²]
Separación de correa	1	[m]
Carga puntual – q	7.60	[kN]
Longitud de Viga – L	3.3	[m]
Límite de fluencia Al – Fy	276	[MPa]
Esfuerzo admisible –Al – Fb	165.6	[MPa]

Se procede a sacar las reacciones del elemento, tanto Ra y Rb.

$$Ra + Rb = q * 4$$

$$Ra + Rb = 7.6 * 4 = 30.40 \text{ [kN]}$$

Momento en el punto (a)

$$\sum Ma = 0$$

Ec. 2. 5

$$[Rb * (\cos 20 * 2.7668 \text{ m})] - [q * \cos 20 * 2.8834\text{m}] - [q * \cos 20 * 1.8834\text{m}] - [q * \cos 20 * 0.8834\text{m}] + [q * \cos 20 * 0.1166] = 0$$

$$[Rb * (\cos 20 * 2.7668 \text{ m})] - [7.6 * \cos 20 * 2.8834\text{m}] - [7.6 * \cos 20 * 1.8834\text{m}] - [7.6 * \cos 20 * 0.8834\text{m}] + [7.6 * \cos 20 * 0.1166] = 0$$

$$Rb = 15.20 \text{ [kN]} , Ra = 15.20 \text{ [kN]} , q = 7.60 \text{ [kN]}$$

El momento máximo encontrado en el diagrama cortante es $M=1.98 \text{ [kNm]}$

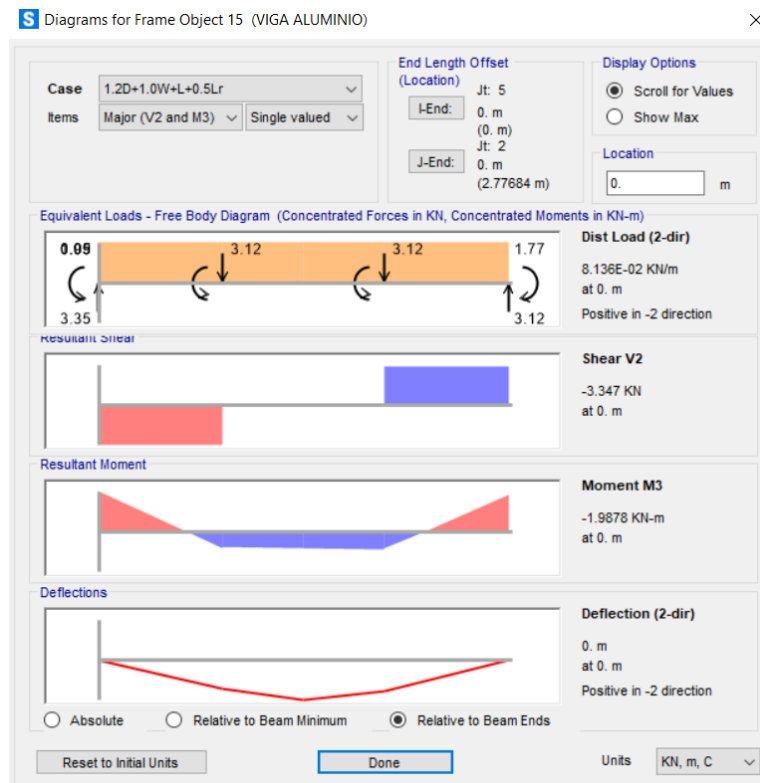


Figura 2. 15 Diagramas: Corte, Momento, Cargas – Viga Fuente: SAP2000

$$W_{xx} = \frac{M_{max}}{F_b(Al)} = \frac{1.98[kN*m]}{165.6\{MPa\}}$$

Ec. 2. 6

$$W_{xx} = 1.95 \times 10^{-5} [m^3] = 11.95 [cm^3]$$

El elemento del sistema si cumple con la geometría de la sección del perfil propuesto.

Parámetros geométricos – Perfil propuesto

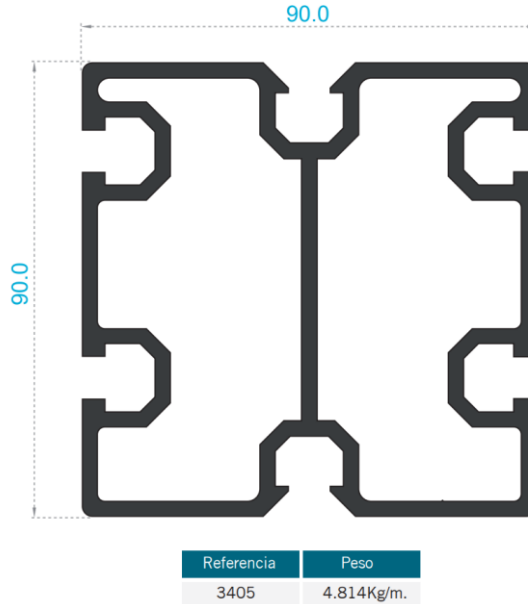


Figura 2. 16 Perfil de Aluminio – Propuesto para Viga
Fuente: Cedal Aluminio

2.5.1.3. Cálculos de Columnas

Carga Muerta (D).

El peso de los paneles, accesorios, correas y vigas definen las cargas del sistema, la carga ejercida por las vigas es analizada de la misma manera que el caso de correas, con el valor del peso del elemento y longitud de las 2 vigas.

$$Carga (vigas) = 4.814 \left[\frac{kg}{m} \right] * 2 * 3.30m * \left(\frac{1}{3.30m * 3.15m} \right) * 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * \frac{1[kN]}{1000[N]}$$

$$Carga (vigas) = 0.03 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Tabla 2. 22 Carga muerta - Diseño de Columna

Paneles	Accesorios	Correas	Vigas	Unidades
0.122	0.05	0.06	0.03	[kN/m2]

Combos de Cargas

Tabla 2. 23 Cargas - Diseño de Columna

Cargas			
MUERTA	D	0.26	[kN/m ²]
VIVA	L	0.59	[kN/m ²]
VIENTO	W	0.80	[kN/m ²]

Tabla 2. 24 Combinaciones de Carga - Diseño de Columna

COLUMNA		
COMBINACION DE CARGAS		
1	0.37	[kN/m ²]
2	1.32	[kN/m ²]
3	0.91	[kN/m ²]
4	1.77	[kN/m ²]
5	0.90	[kN/m ²]
6	1.04	[kN/m ²]
7	0.24	[kN/m ²]

Dimensión del elemento – Columna

Para determinar las reacciones en las columnas del sistema de montaje, se lo analiza a través de Simulación en el software SAP2000, asignando las cargas correspondientes del sistema.

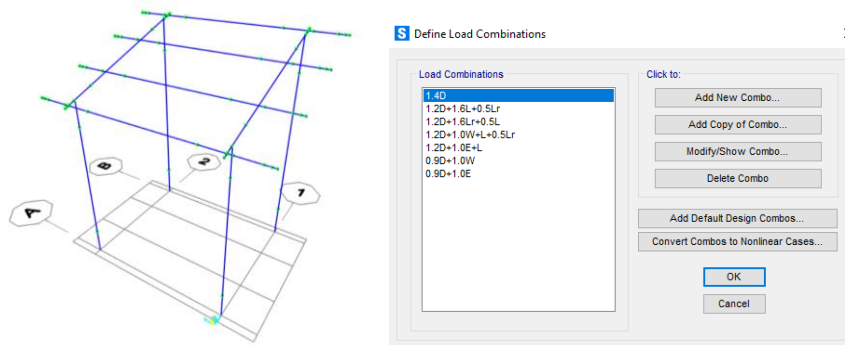


Figura 2. 17 Asignación de combinaciones de cargas
Fuente: SAP2000

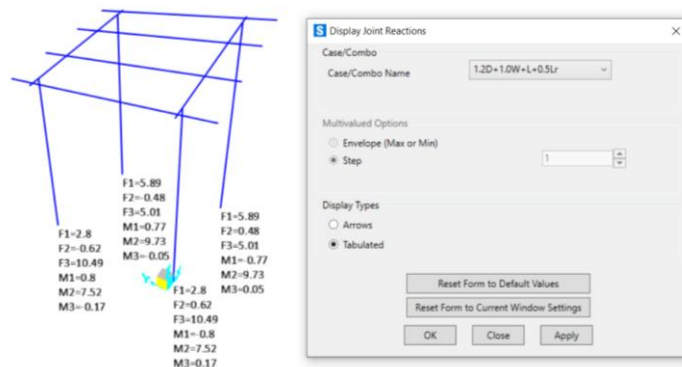


Figura 2. 18 Reacciones y momentos según el combo crítico.
Fuente: SAP2000

Dimensionamiento de Columna

La reacción máxima en las bases de la columna es determinada a través del Software SAP2000, presentando un valor Momento máximo de $M_{max}=9.73[kN*m]$.

Tabla 2. 25 Propiedades de Acero y Factor de seguridad

Límite de fluencia A36 – F_y	250	[MPa]
Esfuerzo admisible A36 – F_b	150	[MPa]
Factor de Seguridad	1.67	

$$S_{xx} = \frac{M_{max}}{F_a} = 6.486 \times 10^{-5} [m^3]$$

Ec. 2. 7

$$S_{xx} = 64.86 [cm^3]$$

Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x = y-y			
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
120	2,50	11,59	9,10	264,81	44,13	4,78
	3,00	13,81	10,84	312,38	52,06	4,76
	4,00	18,15	14,25	402,38	67,06	4,71
	4,50	20,27	15,91	444,87	74,14	4,68
	5,00	22,36	17,55	485,73	80,95	4,66
	6,00	26,43	20,75	562,68	93,78	4,61

Figura 2. 19 Perfil seleccionado
Fuente: IPAC Catalogo

Perfil seleccionado: Tubo Cuadrado – 120x120x4 [mm]

Seleccionada la sección del tubo, se comprueba la resistencia de la columna compresión.

$$Pu = 15.20 [kN]$$

Esbeltez del elemento:

$$\frac{b}{t} = 1.4 * \sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad \text{Ec. 2. 8}$$

$$t = 4[mm]$$

$$b = 120 - (2 * 4) = 112[mm]$$

$$\frac{112[mm]}{4[mm]} = 1.4 * \sqrt{\frac{200x10^9}{250x10^6}}$$

$$28 \leq 39.6$$

Por lo tanto, el elemento no es esbelto

El manual AISC establece el cálculo de tensión crítica **Fcr** del elemento en análisis de elementos no esbeltos, con el uso de valores de longitud efectiva y configuración de la columna.

Buckled shape of column shown by dashed line						
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value K	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition key		Rotation fixed and translation fixed				
		Rotation free and translation fixed				
		Rotation fixed and translation free				
		Rotation free and translation free				

Figura 2. 20 Configuración de columna - Factor de longitud efectiva
Fuente: Manual AISC

$$\frac{kL}{r} \leq 4.71 * \sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad \text{Ec. 2. 9}$$

$$\frac{0.8 * 445[cm]}{4.71[cm]} \leq 4.71 * \sqrt{\frac{200x10^9}{250x10^6}}$$

$$75.58 \leq 133.21$$

Para el calculo de **Fcr**.

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = 345.55 [MPa] \quad \text{Ec. 2. 10}$$

$$F_{cr} = \left[0.685 \frac{F_y}{F_e}\right] * F_y = 184.68 [MPa]$$

$$P_n = \frac{A_g * F_{cr}}{\Omega_c} = \frac{18.15 [cm^2] * 184.68 [MPa]}{1.67} \quad \text{Ec. 2. 11}$$

$$P_n = 200.71 [kN]$$

Por lo tanto:

$$200.71 [kN] \geq 15.20 [kN]$$

Lo que me indica que la seccion escogida para la columna soporta mayor carga de la que sera cargada en campo, soportando compresión y flexión.

2.6. Simulación de Cargas sobre la Estructura

El comportamiento de la estructura se lo realiza a través de la simulación donde abarca cada una de las cargas como: Muerta, Viva, Viento e incluyendo la de sismo que implica un análisis de la zona de estudio, para la asignación de perfiles de acuerdo con el dimensionamiento de cada uno de los elementos.

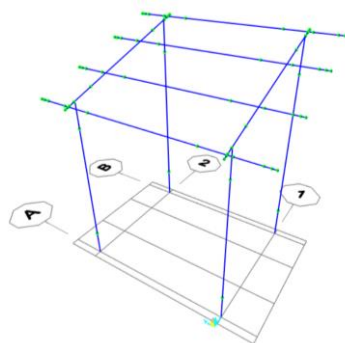


Figura 2. 21 Estructura del sistema
Fuente: SAP2000

2.6.1. Desarrollo de Simulación

Para desarrollar la simulación se asigna el perfil a cada uno de los elementos del sistema, tanto para correa, viga y columna.

Definición de Perfil

Se desarrolla un nuevo perfil para el uso en SAP2000, ya que la librería del software solo cuenta con bibliotecas de perfiles de acero para construcción.

Elemento Correa

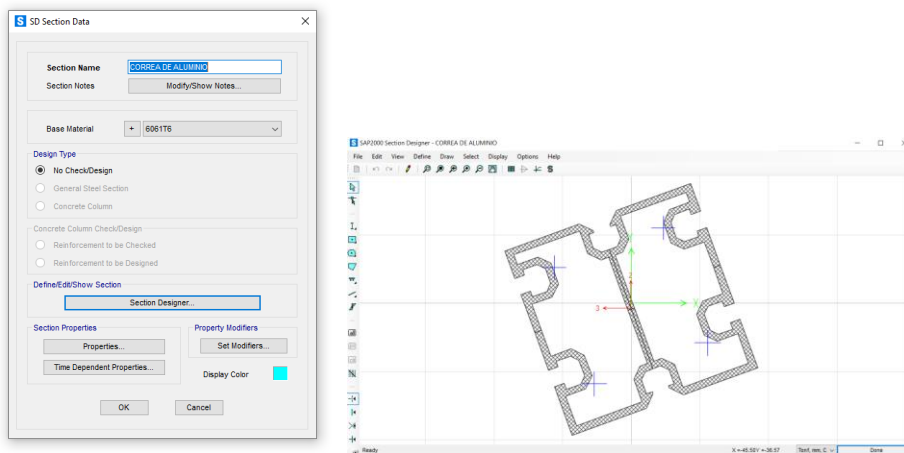


Figura 2. 22 Definición de nueva geometría de perfil, Elemento Correa
Fuente: SAP2000

Elemento Viga

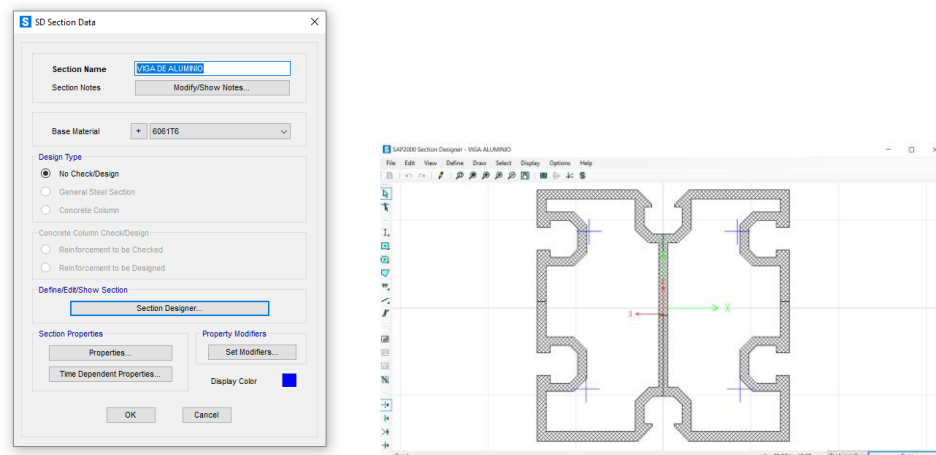


Figura 2. 23 Definición de nueva geometría de perfil, Elemento Viga
Fuente: SAP2000

Definición de Perfil – Elemento Columna

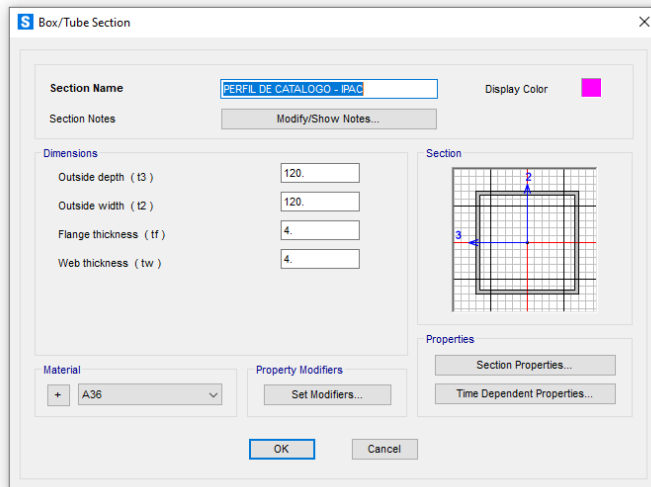


Figura 2. 24 Definición geometría de perfil, Elemento Columna
Fuente: SAP2000

Asignación de Perfiles en los elementos de la estructura

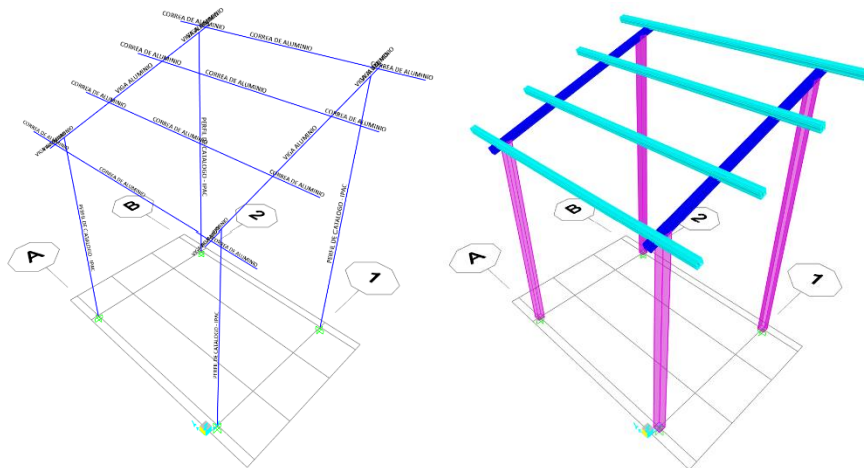


Figura 2. 25 Asignación de perfiles en elementos del sistema
Fuente: SAP2000

2.6.2. Asignación de Cargas

Se aplican cada una de las cargas consideradas en el inciso anterior, donde detalla las cargas Muerta, Viva, Sobre carga de Cubierta, Viento, y Sismo.

Carga de Muerta: La carga muerta asignada en el programa es el valor de la carga distribuida que se encontró de manera manual donde toma en cuenta los paneles solares, accesorios que serán distribuidos en cada una de las correas de la estructura.

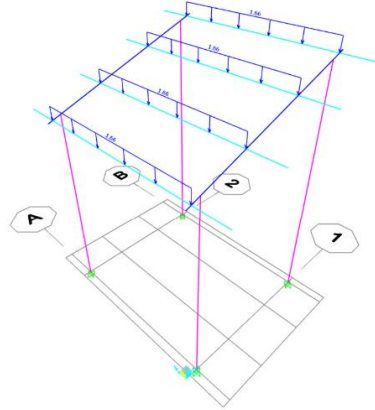


Figura 2. 26 Carga muerta sobre la estructura
Fuente: SAP2000

Carga de Viento: La aplicación de la carga más crítica que afecta a la estructura es la que va directamente en la parte superior de esta, ya que intentará alzar los paneles de los elementos, la carga aplicada es la hallada de manera manual, que consiste en una carga distribuida triangular en cada una de las columnas.

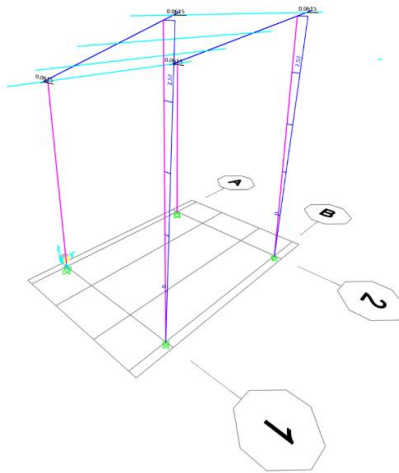


Figura 2. 27 Carga de viento sobre la estructura
Fuente: SAP2000

Carga de Sismo: La asignación de la carga de sismo en el programa, permite generar el movimiento de la superficie - suelo sobre la cual va apoyada la estructura, que será denominada ESPECTRO – PALORA, que, de acuerdo con las condiciones del lugar de estudio, la NEC-SE-DS define parámetros sísmicos de la zona, como zona sísmica, tipo de suelo y factores de sitio, ya que el Ecuador es considerado con un alto riesgo de amenaza sísmica.

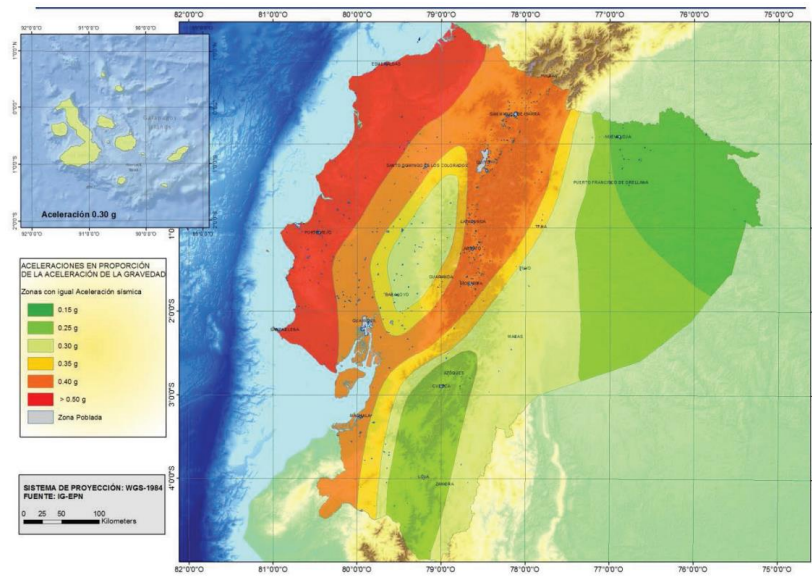


Figura 2. 28 Mapa de zona sísmica del Ecuador
Fuente: NEC-SD-DS,2015

Tabla 2. 26 Factores sísmicos del lugar de estudio - Palora Morona Santiago

Zona sísmica	III
Factor "z"	0.3
Caracterización sísmica	ALTA
Tipo de suelo	D
Fa	1.3
Fd	1.6
Fs	1.3

Los factores encontrados de acuerdo con el lugar de estudio se encuentran en los ANEXOS. del 9 al 15.

Se define la carga de sismo en SAP2000 de acuerdo con la NEC-DS, para diseño sismorresistente del sistema, con los factores de la Tabla. que caracterizan al lugar donde se va a instalar el sistema de montaje.

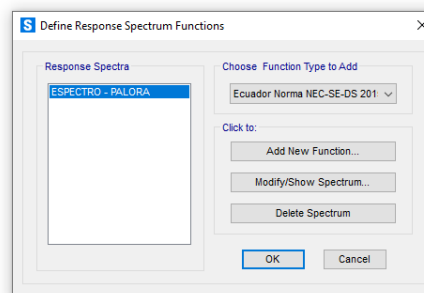


Figura 2. 29 Definición de Espectro sísmico PALORA
Fuente: SAP2000

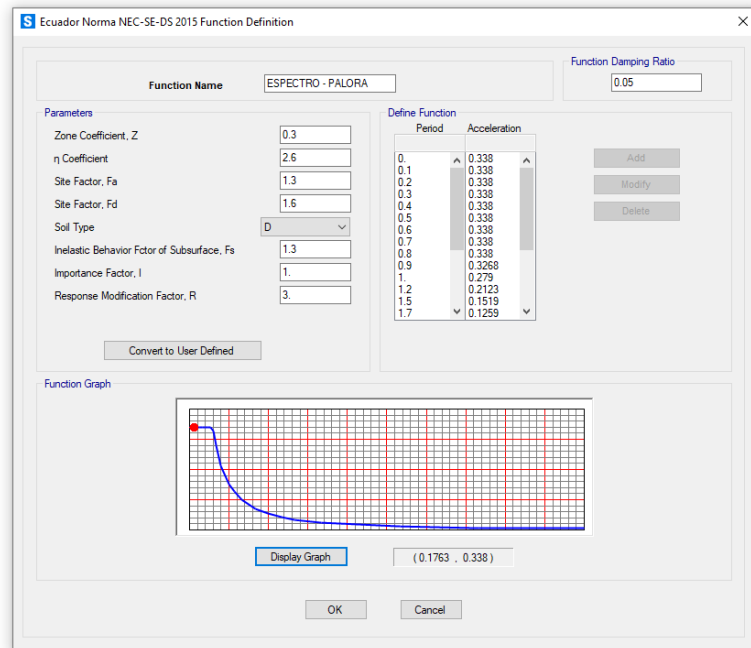


Figura 2. 30 Definición de factores de espectro sísmico
Fuente: SAP2000

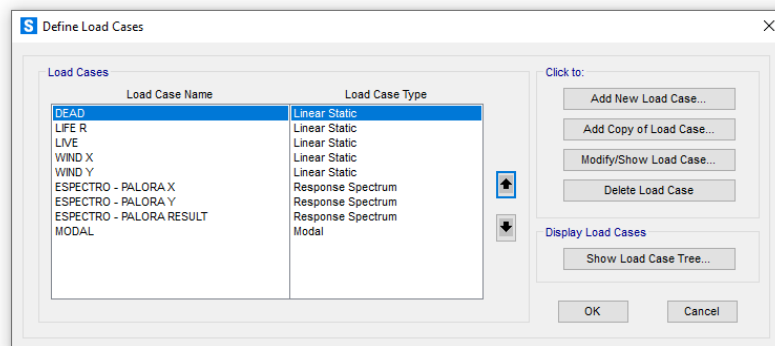


Figura 2. 31 Definición de cargas sísmicas X, Y
Fuente: SAP2000

2.6.3. Simulación de cargas aplicadas

Se analizan las columnas de la estructura tomando en cuenta los requisitos para el diseño de pórticos sometidos a momento, definido como pórtico no arriostrado, ordinarios (OMF), intermedios (IMF) y especiales (SMF), de los sistemas presentes, IMF y SMF son precalificados según la AISC 358 para aplicaciones sísmicas.

Tabla 2. 27 Requerimientos de pórtico no arriostrado

Requerimiento de diseño para pórtico no arriostrado		Factor "R"
Pórticos no arriostrados Ordinarios	(OMF)	3.5
Pórticos no arriostrados Intermedios	(IMF)	4.5
Pórticos no arriostrados Especiales	(SMF)	8

2.7. Diseño Placa Base

El diseño de la placa base toma en cuenta la carga de la columna que será transmitida hacia la cimentación, que condiciona la geometría y espesor de esta, el material de la placa es ASTM – A36, la consideración es el área de la placa base igual al área de base de la cimentación.

Distribución uniforme de esfuerzos

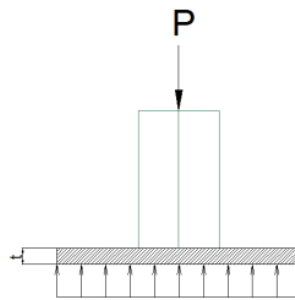


Figura 2. 32 Carga axial sobre placa base
Fuente: Rubén J. Gonzales

Cálculo del área requerida de la placa base.

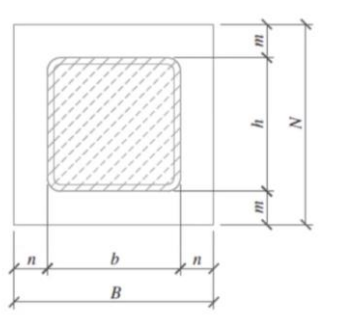


Figura 2. 33 Geometría de Placa Base
Fuente: Manual AISC

$$A_{requerida} = \frac{Pu * \Omega}{0.85 * F'c * \sqrt{\frac{A1}{A2}}}$$

Ec. 2. 12

Donde:

$$P_u = \text{Carga axial de la columna} = 15.20 \text{ [kN]}$$

$$\Omega = \text{Factor de seguridad a compresión del concreto} - \text{AISC} = 2.31$$

$$F'_c = \text{Capacidad a compresión del concreto} - \text{INEN} = 21 \text{ [MPa]}$$

A_1 = Area de la placa base

A_2 = Area de base de cimentación

$$A_{requerida} = \frac{15.20 \text{ [kN]} * 2.31}{0.85 * 21 \text{ [MPa]} * \sqrt{1}}$$

$$A_{requerida} = 1.97 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{requerida} = 19.7 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Area de la placa} = L^2 = 19.7$$

Por lo tanto, el lado de la placa:

$$L = 4.44 \text{ [cm]}$$

Al seleccionar la columna de perfil cuadrado de dimensiones 120x120x4, se debe diseñar la placa base con un área mínima para el perfil y pernos de anclaje, el factor de seguridad para los pernos de anclaje es de 2.

$$R_n = \frac{F_n * A_b}{\Omega}; F_n = 0.56 * F_u \quad \text{Ec. 2. 13}$$

$$A_b = \frac{R_n * \Omega}{0.56 * F_u}$$

Donde:

$$F_u = 400 \text{ [MPa]} \text{ Correspondiente al esfuerzo a la tensión mínima del acero} - \text{A36}$$

$$R_n = 5.89 \text{ [kN]}$$

$$A_b = \frac{5.89 \text{ [kN]} * 2}{0.56 * 400 \text{ [MPa]}} = 5.26 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_b = 52.6 \text{ [mm}^2\text{]}$$

La configuración de la placa base es con un mínimo de 4 pernos (perforaciones) necesarios establecido por OSHA, dividiendo el área encontrada para 4 pernos de anclaje.

$$Ab = \frac{52.6 [mm^2]}{4} = 13.14 [mm^2]$$

$$Ab = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$d = 4.09 [mm] \quad d \text{ perno sugerido} = 12 [mm]$$

Las dimensiones de la placa base de acuerdo con la norma AISC parte 1 diseño de placa base con 4 pernos, establece el centro de la perforación se encuentre a 45 grados de la arista de la columna, por lo que se define una placa de 250 mm x 250.

Se dimensiona el espesor de la placa base en función del voladizo:

$$l = \frac{N - 0.8 * 100 [mm]}{2} = \frac{250 [mm] - 0.8 * 100 [mm]}{2} \quad \text{Ec. 2. 14}$$

$$l = 85 [mm] = 0.085 [m]$$

$$t_{min} = l * \sqrt{\frac{2 * Pu * \Omega_c}{F_y * N^2}} = 0.085 [m] * \sqrt{\frac{2 * 15.2x10^3 [N] * 1.67}{250x10^6 [Pa] * 0.25^2 [m]}}$$

$$t_{min} = 4.845x10^{-3} [m] = 4.84 [mm]$$

Espesor de placa base encontrada comercialmente es de 6 [mm]

2.8. Diseño de Conexiones

2.8.1. Conexiones Soldadas

Para realizar las conexiones de las juntas a través de soldadura es necesario verificar que el material de aporte de la soldadura sea compatible con el material de las columnas – Acero A36, para el uso de electrodos 60 [ksi] y 70 [ksi].

Junta Soldada (Columna – Placa base)

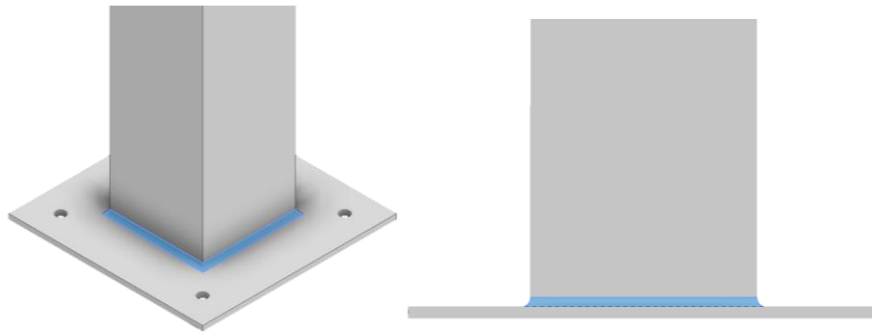


Figura 2. 34 Soldadura de Columna - Placa Base
Fuente: Propia

$$R_n = F_{nw} * A_{we}$$

$$R_n = F_{nBN} * A_{BM}$$

Ec. 2. 15

$$F_{nw} * A_{we} = F_{nBN} * A_{BM}$$

$$0.6 * F_{EXX} * A_{we} = F_{nw} * A_{we}$$

$$0.6 * 413.67 [MPa] * A_{we} = 400 [MPa] * 18.56 [cm^2]$$

$$A_{we} = 29.9 [cm^2]$$

$$\frac{a * l}{\sqrt{2}} = 29.9 [cm^2]$$

$$a = \frac{29.9 [cm^2] * \sqrt{2}}{48 [cm]} = 0.88 [cm]$$

$$a = 8.8 [mm]$$

El alto del cordón debe cumplir con el límite establecido, pero al tener el espesor del tubo cuadrado de 4 [mm], la altura del cordón se limita a la medida de 4[mm].

Junta Soldada (Columna – Placa sujeción Viga)

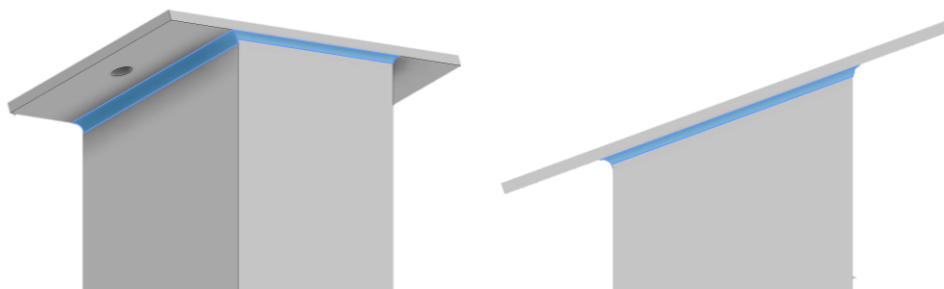


Figura 2. 35 Soldadura de Columna - Placa de sujeción Viga
Fuente: Propia

$$R_n = F_{nw} * A_{we}$$

Ec. 2. 16

$$R_n = F_{nBN} * ABM$$

$$F_{nw} * A_{we} = F_{nBN} * ABM$$

$$0.6 * F_{EXX} * A_{we} = F_{nw} * A_{we}$$

$$0.6 * 413.67 [MPa] * A_{we} = 400 [MPa] * 19.12 [cm^2]$$

$$A_{we} = 30.8 [cm^2]$$

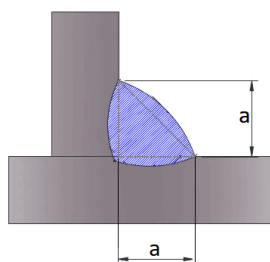


Figura 2. 36 Geometría del cordón de soldadura

$$\frac{a * l}{\sqrt{2}} = 30.8 [cm^2]$$

$$a = \frac{30.8 [cm^2] * \sqrt{2}}{48 [cm]} = 0.90 [cm]$$

$$a = 9.0 [mm]$$

El alto del cordón debe cumplir con el límite establecido, pero al tener el espesor del tubo cuadrado de 4 [mm], la altura del cordón se limita a la medida de 4[mm].

2.8.2. Conexiones Empernadas

Para las conexiones de los elementos columna – viga y viga – correas se calculan las juntas empernadas y selección del diámetro del perno.

Pernos estructurales A325 tipo 1 – 3

Junta empernada (Columna – Viga)

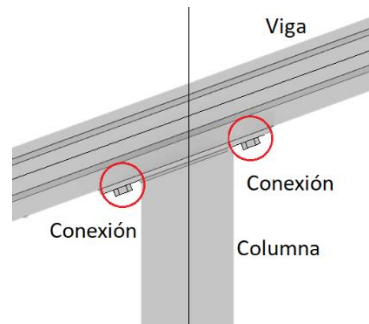


Figura 2. 37 Junta empernada Columna – Viga
Fuente: Inventor
Placa de columna para apoyo de viga

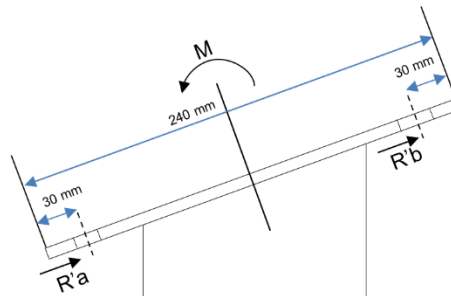


Figura 2. 38 Esquema de reacciones Columna – Viga
Fuente: Propia

$$Ra = Rb = \frac{15.20[kN]}{2} = 7.6[kN]$$

$$R'a = R'b = 3.8[kN]$$

$$M = 2 * Fa'(90 \times 10^{-3})$$

$$Fa' = \frac{M}{2 * 90 \times 10^{-3}} = \frac{0.6424[kN]}{2 * 90 \times 10^{-3}} = 3.57[kN]$$

Ec. 2. 17

$$F = \sqrt{Fa'^2 + R'a^2}$$

$$F = \sqrt{3.57^2 + 3.8^2} = 5.21[kN]$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Ec. 2. 18

$$A = \frac{F}{\tau} = \frac{5.21[kN]}{372[MPa]} = 1.4 \times 10^{-5}[m^2] = 14.0[mm^2]$$

$$d = 4.22[mm]$$

Se revisa el catálogo de pernos, el disponible en el mercado es de ¼[in] – 6.35 [mm] de diámetro que satisface el diseño.

Junta empernada (Viga – Correa)

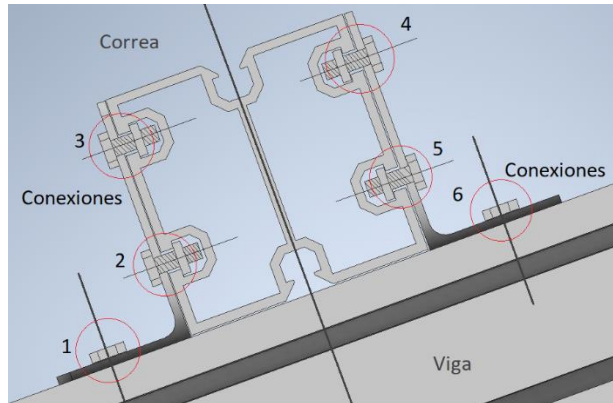


Figura 2. 39 Junta emperrada Viga – Correa
Fuente: Inventor

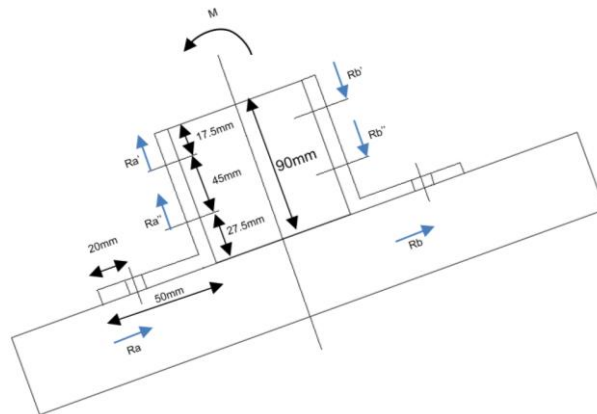


Figura 2. 40 Esquema de reacciones Viga – Correa
Fuente: Propia

$$R1 = R2 = \frac{7.6[kN]}{2} = 3.8[kN]$$

$$Ra = Rb = 1.29[kN]$$

$$Ra' = Ra'' = 3.57[kN]$$

$$Rb = Rb'' = -3.57[kN]$$

$$M1 = 2 * F1a'(45x10^{-3})$$

$$F1a' = \frac{M1}{2 * 45x10^{-3}} = \frac{0.3213[kN]}{2 * 45x10^{-3}} = 3.57[kN]$$

Ec. 2. 19

$$F1 = \sqrt{F1a'^2 + R'a^2}$$

$$F1 = \sqrt{3.57^2 + 7.14^2} = 7.98[kN]$$

$$\tau = \frac{F1}{A1}$$

Ec. 2. 20

$$A1 = \frac{F1}{\tau} = \frac{7.98[kN]}{372[MPa]} = 2.145 \times 10^{-5} [m^2] = 21.45 [mm^2]$$

$$d1 = 5.22 [mm]$$

$$M2 = 2 * F2a'(30 \times 10^{-3})$$

Ec. 2. 21

$$F2a' = \frac{M1}{2 * 30 \times 10^{-3}} = \frac{0.078[kN]}{2 * 30 \times 10^{-3}} = 1.3 [kN]$$

$$F2 = \sqrt{F2a'^2 + R'a^2}$$

$$F2 = \sqrt{1.3^2 + 2.6^2} = 2.9 [kN]$$

Ec. 2. 22

$$\tau = \frac{F2}{A2}$$

$$A2 = \frac{F2}{\tau} = \frac{2.9[kN]}{372[MPa]} = 0.78 \times 10^{-5} [m^2] = 7.8 [mm^2]$$

$$d2 = 3.15 [mm]$$

Se revisa el catálogo de pernos, el disponible en el mercado es de ¼[in] – 6.35 [mm] de diámetro que satisface el diseño.

2.9. Diseño de Cimentación

Para el diseño de la cimentación, es necesario tomar en cuenta la información que abarque las características del sitio, como estudios geológicos anteriores, clima, vegetación, que sean considerados necesarios.

La NEC indica que todo tipo de estructura acompañada de cimentación, deben diseñarse de tal forma que la resistencia de diseño iguale los efectos de las cargas incrementadas.

Se tomo en cuenta el estudio de suelos realizado en la provincia de Sucumbíos en la construcción de plataforma de exploración petrolera con detalle de los estratos del suelo.

Los datos recopilados son:

Tabla 2. 28 Características del suelo - Diseño de Cimentación Fuente: Bonifaz J.,2015

	Estudio de suelos para explotación petrolera - Sucumbíos
Nivel freático	Si
Profundidad de cimentación (m)	3
Trabajo Admisible del suelo (qa) kN/m ²	16.97
Ángulo de fricción interna del suelo	28.9°

La carga soportada por la columna es de $P_u=10.49$ kN

Y el área de apoyo necesaria por la zapata de cimentación es:

$$P = \frac{F_{column}}{A_{zapata}} \quad \text{Ec. 2. 23}$$

$$A_{zapata} = \frac{10.49 [kN]}{16.97 \left[\frac{kN}{m^2} \right]} = 0.618 [m^2]$$

$$A_{zapata} = B * B$$

$$B = \sqrt{0.618[m^2]} = 0.78 [m]$$

Es necesario definir la profundidad de desplante apropiada (D_f), ya que presenta valores altos del nivel freático, el cual puede causar fallas en la estructura o en la cimentación.

Nivel Freático [m]	0.6, 0.8, 1.2
--------------------	---------------

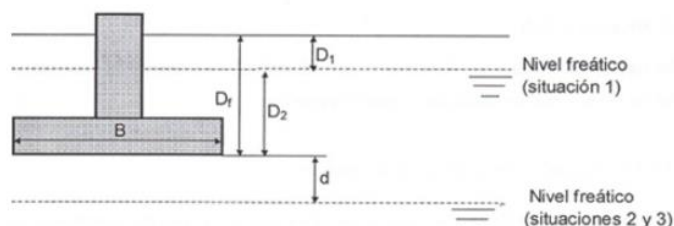


Figura 2. 41 Esquema de nivel freático

Para el diseño de la cimentación, se toma en cuenta la relación de $Df/B < 4$, por lo que la distancia Df considerada para el lugar es de 1.5 [m] que abarca al valor más alto presentado en la zona de estudio.

Tabla 2. 29 Parámetros de diseño de cimentación

B	Df	DF/B <4		
0.8 [m]	1.5 [m]	1.875		
γ - Peso unitario del suelo	1.65	[T/m ³]	16.19	[kN/m ³]
C – Cohesión del suelo	4.64	[T/m ²]	45.52	[kN/m ²]

Para determinar la capacidad del suelo ' q_u ', es necesario tomar en cuenta el ángulo de fricción del suelo de 28.9° para determinar los valores de N_c , N_q , N_r presentes en la fórmula de Terzaghi. Presentes en el Anexo 2.

Los valores para 28.9° de fricción del suelo son:

$$N_c = 33.97$$

$$N_q = 19.76$$

$$N_r = 15.93$$

La carga del suelo hasta el nivel de desplante:

$$q = \gamma * Df \quad \text{Ec. 2. 24}$$

$$q = 24.28 \text{ [kN]}$$

La carga última de Terzaghi del suelo es:

$$q_u = (1.3 * C * N_c) + (q * N_q) + (0.4 * \gamma * B * N_r) \quad \text{Ec. 2. 25}$$

$$q_u = 2572.41 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Los factores de N_c , N_q , N_r están detallados en el ANEXO XVII, según el ángulo de fricción del suelo

La carga admisible por unidad de área de la cimentación es:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s} = \frac{2572.41 \text{ [kN/m}^2\text{]}}{3} \quad \text{Ec. 2. 26}$$

$$q_{adm} = 857.47 \text{ [kn/m}^2\text{]}$$

La carga admisible bruta:

$$Q = q_{adm} * B^2 = 548.78 \text{ [kN]} \quad \text{Ec. 2. 27}$$

Lo que me indica que el suelo si es admisible para la cimentación considerando que la carga de la columna es de 10.49 [kN], con el nivel freático de 1.2 [m] de profundidad y el desplante apropiado (Df) de 1.5 [m].

2.10. Costos

Ya definidas las geometrías de cada uno de los elementos del sistema de montaje, se procede a la estimación de costos de materiales, construcción y mano de obra para el ensamble de la estructura.

Materiales

Se trata de una estructura metálica de acero y aluminio, tomando en cuenta los proveedores presentes en el país, se encuentran Novacero y Cedal Aluminios respectivamente.

Tabla 2. 30 Costo de Materiales de estructura Fuente: Propia

Elemento	Especificacion	Cantidad (u)	Cantidad (kg)	peso total (kg)	Costo unitario USD	Total USD
Correa - Perfil Aluminio	Al-6061 T5 90x90	4	15.16	60.66	\$3.38	\$205.02
Viga - Perfil Aluminio	Al-6061 T6 90x90	2	15.89	31.77	\$3.38	\$107.39
Columna delantera	A36 - Tubo cuadrado 120x120x4	2	47.56	95.12	\$1.73	\$164.56
Columna posterior	A36 - Tubo cuadrado 120x120x4	2	64.86	129.72	\$1.73	\$224.42
Placas base	A36 - 6mm	4	2.90	11.60	\$1.73	\$20.07
Placas apoyo viga	A36 - 3mm	4	0.67	2.68	\$1.73	\$4.63
						\$726.08

Elementos normalizados

El valor de los elementos normalizados se encuentra en la Tabla 2.31.

Tabla 2. 31 Costo de elementos normalizados Fuente: Propia

Elemento	Especificacion	Cantidad (u)	Costo unitario USD	Total USD
Perno Hexagonal	Diametro 1/4 in x 3/8 Galvanizado	56	\$0.15	\$8.40
Arandela plana	Diametro 1/4 in Galvanizada	56	\$0.03	\$1.68
Tuerca	Diametro 1/4 in Galvanizada	56	\$0.02	\$1.12
Pernos de Anclaje	Perno de anclaje galvanizado - diametro 12mm	16	\$17.50	\$280.00
				\$291.20

Mano de obra

Tomando en cuenta el costo de personal encargado de la parte de construcción, se define los costos de mano de obra, presentes en la Tabla 2.32.

Tabla 2. 32 Costo de mano de obra Fuente: Propia

Maquinaria	Cantidad	Taladro		Cortadora		Soldadora		Total
Costo por hora		5		5		25		
Pieza		t(Horas)	USD	t(Horas)	USD	t(Horas)	USD	USD
Columnas								
Columna	4	0.00	\$0.00	0.17	\$0.83	0.67	\$16.67	\$11.31
Placa base	4	0.67	\$3.33	0.33	\$1.67	0.67	\$16.67	\$13.95
Placas apoyo viga	4	0.67	\$3.33	0.33	\$1.67	0.67	\$16.67	\$13.95
Vigas								
Perfil Aluminio	2	0.00	\$0.00	0.17	\$0.83	0.00	\$0.00	\$0.14
Correa								
Perfil Aluminio	4	0.00	\$0.00	0.17	\$0.83	0.00	\$0.00	\$0.14
Placa union Viga correa	8	0.67	\$3.33	0.33	\$1.67	0.33	\$8.33	\$5.53
								\$45.03

Costo de Galvanizado de Columnas:

Debido al ambiente húmedo al que se encuentra expuesto el sistema, se realiza el recubrimiento de galvanizado en caliente, detallado en la Tabla 2.33.

Tabla 2. 33 Costo de protección galvánica Fuente: Propia

Elemento	Especificación	Cantidad (u)	Cantidad (kg)	peso total (kg)	Costo galvanizado /kg	Costo total de galvanizado
Columna delantera	A36 - Tubo cuadrado 120x120x4	2	47.56	95.12	\$0.69	\$65.63
Columna posterior	A36 - Tubo cuadrado 120x120x4	2	64.86	129.72	\$0.69	\$89.51
Placas base	A36 - 6mm	4	2.90	11.60	\$0.69	\$8.00
Placas apoyo viga	A36 - 3mm	4	0.67	2.68	\$0.69	\$1.85
						\$164.99

Costo total

Tomando en cuenta en la construcción de cada uno de los elementos de la estructura, la suma total toma en cuenta el costo de materiales, elementos normalizados, mano de obra y protección galvánica de elementos de acero, el costo total esta presente en la Tabla 2. 34.

Tabla 2. 34 Costo total del sistema de montaje Fuente: Propia

Costo total	
Materiales	\$726.08
Elementos normalizados	\$291.20
Mano de obra	\$45.03
Tratamiento de galvanizado	\$164.99
	\$1,227.30

2.11. Planos del Sistema

Posterior al diseño de cada uno de los elementos del sistema de montaje a través de cálculos y simulaciones, se diseña en el Programa AutoCAD cada uno de los elementos con las geometrías definidas; se encuentran presentes en el ANEXO XVIII.

3. Resultados, Conclusiones y Recomendaciones**3.1. Resultados**

Se muestran los resultados obtenidos de la simulación de la estructura en el programa SAP2000 y verificando el comportamiento de la estructura con cada uno de los perfiles asignados y las cargas consideradas de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de Construcción para diseño de estructuras metálicas y estructuras sismorresistentes.

Presenta la deformación y comportamiento del sistema de acuerdo con las cargas que fueron aplicadas.

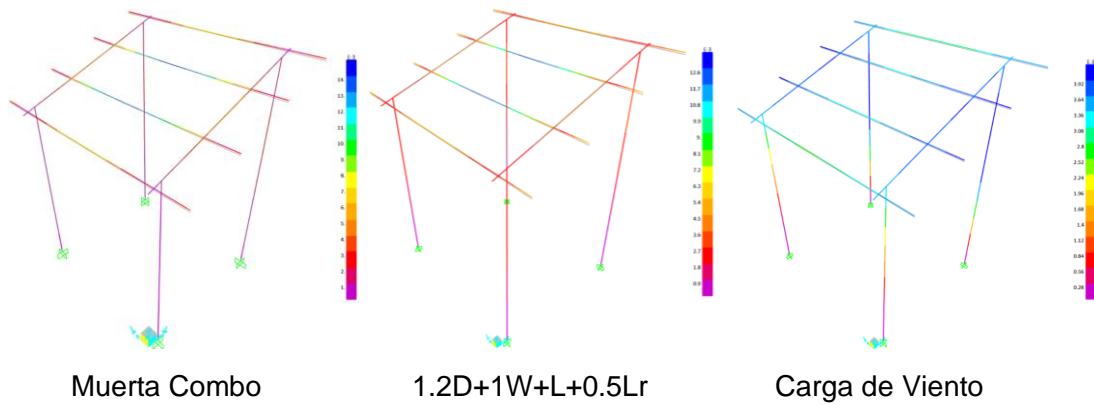


Figura 2. 42 Resultados de simulación de cargas
Fuente: SAP2000

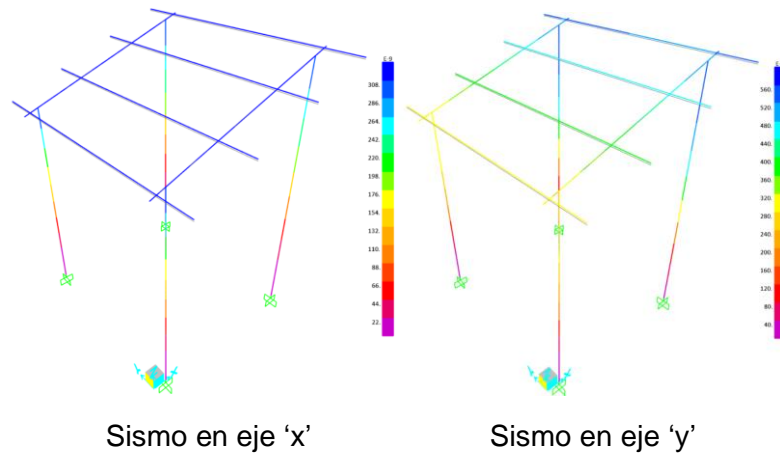


Figura 2. 43 Resultados de simulación de carga sísmica
Fuente: SAP2000

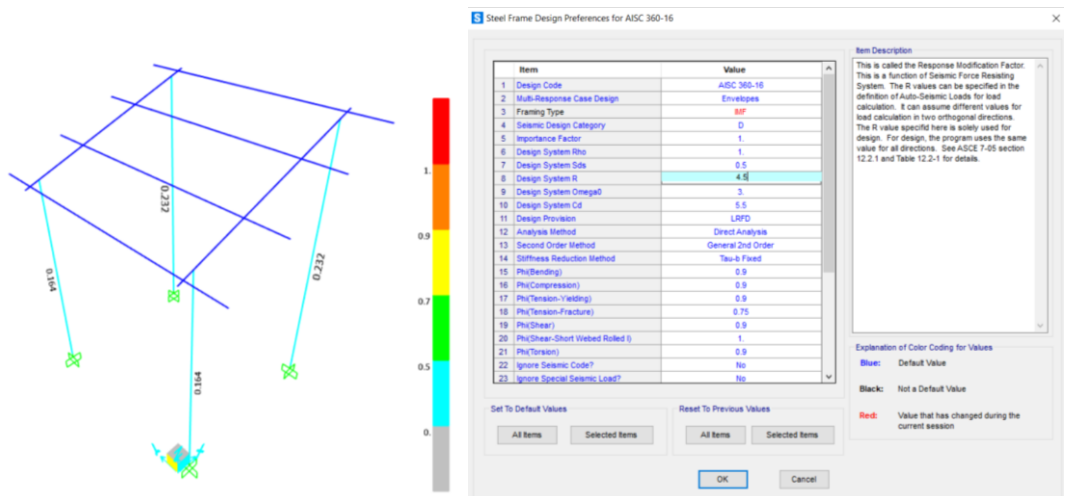


Figura 2. 44 Asignación de factor de pórtico no arriostrado IMF
Fuente: SAP2000

Los resultados de los analisis en las columnas no presentan pandeo de los elementos, presentando valores de 0.232 y 0.164 respectivamente.

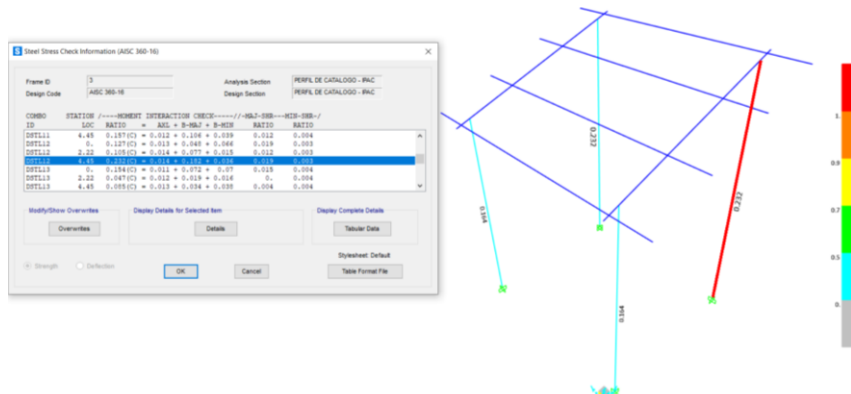


Figura 2. 45 Resultado de estabilidad de Columna – Posterior
Fuente: SAP2000

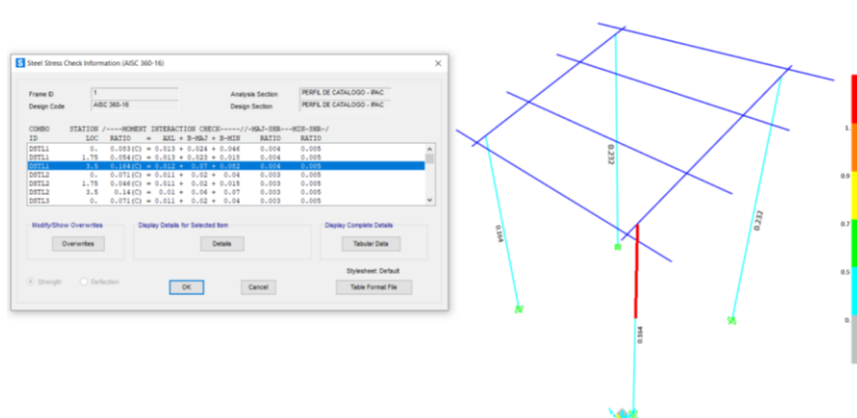


Figura 2. 46 Resultado de estabilidad de Columna – Delantera
Fuente: SAP2000

3.2 Conclusiones

Se realizó la recopilación de información del lugar de estudio para implementar el sistema de montaje fotovoltaico

Se elaboró la casa de la calidad de acuerdo a las necesidades del cliente, estableciendo especificaciones técnicas para la elaboración del diseño de la estructura.

El análisis y evaluación de alternativas se realizó con materiales y elementos presentes en el mercado del país, tanto perfiles de acero como de aluminio.

La elección de la mejor alternativa de diseño se realizó por criterios ponderados, estableciendo una estructura modular con perfiles de acero y aluminio.

En la revisión de perfiles metálicos tomando en cuenta los materiales y geometrías presentes en el mercado, se eligió un perfil de aluminio de la marca Cedal, para las vigas y correas, ya que presenta características de fácil montaje.

Con los datos técnicos de los paneles solares se determinó la geometría de la estructura, definiendo los elementos principales como columnas, vigas y correas.

Se diseñó cada uno de los elementos considerando el combo más crítico, localizando las zonas de mayor interés y definir una geometría para cada elemento.

Se analizó el comportamiento de la geometría del perfil de aluminio propuesto en el programa AutoCAD, con características físicas de buena resistencia en la sección transversal.

Se generó una nueva geometría de perfil estructural de aluminio en el programa SAP2000 para asignar a los elementos vigas y correas del sistema, ya que el programa solamente establece perfiles con geometrías simples usados en la industria.

La simulación en el software SAP2000 me permitió definir las cargas sísmicas de acuerdo a la ubicación geográfica de la zona de estudio, definiendo un espectro sísmico de acuerdo a los factores de diseño sismo resistente presente en la norma NEC 2015.

Se diseñó cada una de las conexiones de la estructura, definiendo tanto el cordón de soldadura para la placa base y columna, y de la misma manera el diámetro de los pernos para la unión de elementos viga correa.

El diseño de la zapata de cimentación se realizó de acuerdo al área de la placa base encontrada y las características geotécnicas del suelo como su ángulo de fricción, considerando los niveles freáticos que se podrían encontrar en el terreno donde se desea implementar el sistema.

Se calculó costos totales, tomando en cuenta el costo de materiales, elementos normalizados, mano de obra y proceso de protección galvánica para los elementos de acero.

3.3. Recomendaciones

De acuerdo con la zona de implementación de sistemas fotovoltaicos se recomienda realizar los cálculos de inclinación de los paneles solares para definir la geometría del sistema de montaje.

Es necesario analizar las necesidades del cliente para emitir detalles y criterios según la ubicación y disposición geométrica del sistema, que serán considerados en la evaluación de la casa de la calidad.

Para el diseño del sistema de montaje, tomar en cuenta cada una de los requerimientos presentes en la NEC, tanto para diseño de estructuras metálicas y diseño de estructuras sismo resistentes, ya que las cargas consideradas en las combinaciones de cargas varían como si carga muerta, viva y nieve; según la ubicación geográfica las cargas de viento varían con la velocidad promedio del viento y la carga sísmica varía con los factores sísmicos del suelo según la zona sísmica del Ecuador.

Si se definen nuevas geometrías de los perfiles metálicos, es necesario revisar el comportamiento físico y el uso que se vaya a dar.

Para el diseño de las cimentaciones es necesario un estudio preciso de la zona en la que se vaya a implementar el sistema, ya que los niveles gráficos y factores de resistencia del suelo son variables a cortas distancias.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias

- [1] *22_columnas.pdf*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/22_columnas.pdf
- [2] Andina, M. (2021, noviembre 3). Maderera Andina: Soluciones Estructurales con Simpson Strong Tie. *Maderera Andina*. <https://maderera-andina.com/maderera-andina-soluciones-estructurales-con-simpson-strong-tie/>
- [3] arki2020. (2016, junio 28). Miembros Estructurales. *Arkiplus*. <https://www.arkiplus.com/miembros-estructurales/>
- [4] *CatalogoIPAC_2019.pdf*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de http://www.ipac-acero.com/revista-digital/CatalogoIPAC_2019.pdf
- [5] Colombia, M., Ingeniería y Construcción MIC SAS Bogotá. (s. f.-a). *Ficha Técnica sobre los pernos de anclaje*. <https://www.estructurasmetalicascolombia.com>. Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/anclajes-y-fijaciones/pernos-de-anclaje-para-cimientos/ficha-tecnica-sobre-los-pernos-de-anclaje>
- [6] Colombia, M., Ingeniería y Construcción MIC SAS Bogotá. (s. f.-b). *Servicios de cimentación de estructuras metálicas*. <https://www.estructurasmetalicascolombia.com>. Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/anclajes-y-fijaciones/cimientos-para-construcciones-de-acero>
- [7] *Componentes y montaje de un sistema autoconsumo solar: Lo que hay que saber antes*. (2022, septiembre 10). <https://ecoinventos.com/componentes-y-montaje-sistema-autoconsumo-solar/>
- [8] *Concepto y clasificación de las cimentaciones – El blog de Víctor Yepes*. (2019, enero 9). <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>
- [9] *Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.fao.org/3/v5270s/v5270s08.htm>
- [10] *CORREAS G: Hierro: : Ferreteria Las Palmas: FERRETERIA, MATERIALES, DE, CONSTRUCCION, CUMBAYA, TUMBACO, NAYON, QUITO, ECUADOR*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://ferreterialaspalmasnayon.com/ferreteria-materiales-de-construccion-cumbaya-tumbaco-nayon-quito-ecuador.php?recordID=968>
- [11] *Corrosión del acero estructural. Dos casos reales – e-STRUC*. (2015, junio 22). <https://e-struc.com/2015/04/17/corrosion-del-acero-estructural-dos-casos-reales/>
- [12] *CPE 5 P1 C12.pdf*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CPE%205%20P1%20C12.pdf>
- [13] *¿Cuáles son las aplicaciones del aluminio estructural?* (2019, mayo 14). <https://aluminioindustrial.mx/blog/cuales-son-las-aplicaciones-del-aluminio-estructural/>
- [14] *Documento5_86.pdf*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de

- https://aceroplatea.es/docs/comites/documento5_86.pdf
- [15] *Ecuador actualiza el Bloque de Energías Renovables a 500 megavatios con potencial de inversión por USD 968 millones – Ministerio de Energía y Minas.* (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.recursoyenergia.gob.ec/ecuador-actualiza-el-bloque-de-energias-renovables-a-500-megavatios-con-potencial-de-inversion-por-usd-300-millones/>
- [16] *Encofrados de aluminio para losas Titan HV - Construcción (Maquinaria y Equipos)—Encofrados de aluminio para losas.* (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <http://www.interempresas.net/Equipos-Construccion/FeriaVirtual/Producto-Encofrados-rapidos-de-losas-134397.html>
- [17] Enkontrol. (2019, julio 22). Tipos de acero y sus diferentes usos en la construcción. *Enkontrol*. <https://enkontrol.com/tipos-de-acero-y-sus-diferentes-usos-en-la-construccion/>
- [18] Flórez Millán, L. Á., Ovalle Garay, J. H., & Forero La Rotta, L. A. (2014). Traducción del diseño concurrente al proyecto de arquitectura. *Revista de Arquitectura*, 16(1), 77-85. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2014.16.9>
- [19] Gordo, I. R. D. (2021, enero 12). *Definición de corrosión. ¿Qué es la corrosión?* Cover Systems. <https://www.coversystems.net/definicion-de-corrosion/>
- [20] *INGENIERIA DEL DISEÑO - Diseño conceptual.* (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://sites.google.com/site/ingenieriadeldisenodisenocconceptual>
- [21] *MTOP_NEC-SE-DS.pdf.* (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2017/05/MTOP_NEC-SE-DS.pdf
- [22] *Nec2011-cap-14-energ3adas-renovables-021412.pdf.* (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-14-energ3adas-renovables-021412.pdf>
- [23] *NEC-HS-ER-Energías-Renovables.pdf.* (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/NEC-HS-ER-Energ%C3%ADas-Renovables.pdf>
- [24] Orozco, J. (s. f.). *Uniones y conexiones en estructuras de acero.* Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://blog.laminasyaceros.com/blog/uniones-y-conexiones-en-estructuras-de-acero>
- [25] *Perfiles de aluminio para cargas pesadas.* (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.rk-rose-krieger.com/espanol/productos/sistemas-de-perfiles/perfiles-para-aplicaciones-pesadas/>
- [26] *Perfiles de aluminio. Proceso y Productos.* (s. f.). *Gestión De Compras.* Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.gestiondecompras.com/es/productos/conformado-de-tubos-y-perfiles/perfiles-de-aluminio/>
- [27] Pernos y conexiones atornilladas | SkyCiv Engineering. (2022, marzo 7). *Software de análisis estructural en la nube SkyCiv | Calculadoras y software de análisis estructural en la nube.* <https://skyciv.com/docs/skyciv-connection-design/steel-connection-articles/bolts-used-in-bolted-connections/>
- [28] *PLACA DE ANCLAJE PARA REVIT STRUCTURE.* (s. f.). *PLACA DE*

- ANCLAJE PARA REVIT STRUCTURE*. Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://manualderevit.blogspot.com/2015/06/elementos-parametricos-para-revit.html>
- [29] *Placas base de columnas*. (2012, diciembre 2). <https://www.arqhys.com/arquitectura/placas-base-columnas.html>
- [30] PROMETAL®. (s. f.). *5 factores principales de la corrosión atmosférica*. Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://blog.recubrimientos-prometal.mx/factores-corrosion-atmosferica-pinturas-mantenimiento-industrial>
- [31] *¿Qué es el diseño modular y cómo te beneficia?* | Algeco. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.algeco.es/que-es-el-diseno-modular-y-como-puede-beneficiarte>
- [32] *¿Qué son los sistemas de montaje pv? - China Solaracks*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.solaracks.com/es/que-son-los-sistemas-de-montaje-pv/>
- [33] Riba, C. (s. f.). *Metodologías de ingeniería concurrente*.
- [34] Ruiz, A. (2017, abril 19). *Correas metálicas: Perfiles para una construcción ligera*. *Blog paneles ACH*. <https://panelesach.com/blog/correas-metalicas-perfiles-construccion-ligera-blog/>
- [35] *Sistema de montaje fotovoltaico – HiSoUR Arte Cultura Historia*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.hisour.com/es/photovoltaic-mounting-system-39705/>
- [36] *Tipos de conexiones para estructuras de Acero* | Sitio Oficial Gerdau Corsa. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.gerdaucorsa.com.mx/blog/tipos-de-conexiones-para-estructuras-de-acero>
- [37] *Tipos de corrosión y características* | Grupo Suquimsa. (2021, marzo 7). <https://www.gruposuquimsa.com/corrosion/>
- [38] *Uniones de acero* | Dlubal Software. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de <https://www.dlubal.com/es/soluciones/areas-de-aplicacion/conexiones-en-uniones>
- [39] *Vigas Metálicas—Construmatica*. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2023, de https://www.construmatica.com/construpedia/Vigas_Met%C3%A1licas

5. ANEXOS

ANEXO I. Casa de la calidad

CORRELACION	
POSITIVA	+
NEGATIVA	-
N CORRELACIÓN	

RELACIÓN	
FUERTE	●
MODERADO	○
DÉBIL	▽

RECCIÓN DE LA MEJORA	
MAXIMIZAR	▲
OBJETIVO	◇
MINIMIZAR	▼

COLUMNA #	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>																																																								EVALUACIÓN DE LA COMPETITIVIDAD DEL CLIENTE				
DIRECCIÓN DE LA MEJORA	1	2	3	4	5	6	7	EVALUACIÓN DE LA COMPETITIVIDAD DEL CLIENTE																																																					
NECESIDADES DEL CLIENTE	ESTRUCTURA MODULAR	PESO DE ESTRUCTURA	PROTECCIÓN A LA CORROSIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	CANTIDAD DE PANELES	UNIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	RESISTENCIA DEL MATERIAL	NUESTRO PRODUCTO	COMPETIDOR 1 - ALUSINSOLAR	COMPETIDOR 2 - SUNFIELD	COMPETIDOR 3 - WANHOS	COMPETIDOR 4 - K2 SYSTEMS	FILA #																																																
1	7%	3	9	FACIL MONTAJE	○	○			●	○			4	4	4	3	4	1																																											
2	9%	4	9	FACIL TRANSPORTE	▽	●		○	○				3	4	4	3	3	2																																											
3	20%	9	9	BAJO COSTO	▽	●	○	○			○		3	4	3	3	4	3																																											
4	18%	8	9	ESTRUCTURA SEGURA	●	○		●		●	●		5	5	5	5	5	4																																											
5	13%	6	9	FACIL MANTENIMIENTO	▽		●	○	○	○	▽		3	3	4	3	4	5																																											
6	16%	7	9	BUENA CALIDAD		○	○	●		○	●		4	4	4	4	4	6																																											
7	11%	5	9	RESISTENTE AL AMBIENTE HUMEDO	○		●	▽		○	●		4	4	3	3	4	7																																											
8	2%	1	9	LIVIANA	○	●	○	○		○	▽		3	4	3	4	5	8																																											
9	4%	2	9	NO SE DETERIORE CON EL TIEMPO	●	▽	○	○		●	●		3	4	3	5	5	9																																											
EVALUACIÓN DE LA COMPETITIVIDAD		OBJETIVO		ESTRUCTURA DE FACIL ARMADO	9	9	9	9	9	9	9																																																		
		RELACIÓN MÁXIMA		9	9	9	9	9	9	9																																																			
		CLASIFICACIÓN DE IMPORTANCIA TÉCNICA		302.2	404.4	346.7	457.8	126.7	346.7	515.6																																																			
		PESO RELATIVO		12%	16%	14%	18%	5%	14%	21%																																																			
		NUESTRO PRODUCTO		4	3	4	3	4	3	4																																																			
		COMPETIDOR 1 - ALUSINSOLAR		4	4	4	3	4	3	4																																																			
		COMPETIDOR 2 - SUNFIELD		3	3	4	3	2	3	3																																																			
		COMPETIDOR 3 - WANHOS		4	4	2	3	3	4	4																																																			
		COMPETIDOR 4 - K2 SYSTEMS		4	4	3	3	4	4	3																																																			
		COLUMNA #		1	2	3	4	5	6	7																																																			

0=no es importante, 5=muy importante

ANEXO II. Especificaciones técnicas del Producto

Empresa Cliente: Delgado Pitahaya		Producto: Sistema de montaje para sujeción de paneles solares		Fecha Inicial: 09/2022 Última Revisión: 01/2023
Diseñador: Pesantez Barragán Kevin Alejandro				Página 1
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	09/01/2022	C	R	Estructura metálica para montaje y sujeción de paneles solares
Peso	09/02/2022	C	D	18kg/m2
Dimensiones	09/03/2022	C	R	Pilares de 3.5m y 4.2m
Capacidad	09/04/2022	I	R	Máximo 8 Paneles solares
Seguridad	09/05/2022	I	R	Factor de seguridad en el diseño de la estructura y diseño de cimentación de 2.1 y 2.3 respectivamente
Vida útil	09/06/2022	I	D	35 años de recubrimiento contra la corrosión
Costo	09/07/2022	C	R	\$1,800
Mantenimiento	09/08/2022	C	R	De fácil transporte, mantenimiento y fácil ensamble

Propone: C = Cliente, I = Ingeniero
 Requerimientos: R = Requerimiento, D = Deseo

ANEXO III. Evaluación de alternativa (MÓDULO 1. Columna)

Ponderación de los criterios para COLUMNA

CRITERIO	COSTO	PESO	CONEXIONES	DISPONIBILIDAD	E+1	Ponderación
COSTO		1	1	1	4	0.33
PESO	1		0.5	0.5	3	0.25
CONEXIONES	0.5	0.2		0.5	2.2	0.18
DISPONIBILIDAD	1	0.5	0.5		3	0.25
				SUMA	12.2	1.00

Evaluación de soluciones - COSTO

COSTO	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0	0	1	0.25
SOLUCION 2	0		0.5	1.5	0.38
SOLUCION 3	0	0.5		1.5	0.38
			SUMA	4	1.00

Evaluación de soluciones - PESO

PESO	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0	0	1	0.25
SOLUCION 2	1		0	2	0.50
SOLUCION 3	1	1		3	0.75
			SUMA	6	1.50

Evaluación de soluciones - CONEXION

CONEXIÓN	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0	1.5	0.38
SOLUCION 2	1		1	3	0.75
SOLUCION 3	0	0		1	0.25
			SUMA	5.5	1.38

Evaluación de soluciones - DISPONIBILIDAD

DISPONIBILIDAD	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0.5	2	0.50
SOLUCION 2	0.5		0.5	2	0.50
SOLUCION 3	0.5	0.5		2	0.50
			SUMA	6	1.50

Conclusiones para VIGA

RESUMEN	COSTO	PESO	CONEXIONES	DISPONIBILIDAD	E	PRIORIDAD
SOLUCION 1	0.082	0.061	0.068	0.123	0.334	3.00
SOLUCION 2	0.123	0.123	0.135	0.123	0.504	1.00
SOLUCION 3	0.123	0.184	0.045	0.123	0.475	2.00

ANEXO IV. Evaluación de alternativa (MÓDULO 2. Viga)

Ponderación de los criterios para VIGA

CRITERIO	COSTO	PESO	CONEXIONES	DISPONIBILIDAD	E+1	Ponderación
COSTO		1	1	1	4	0.33
PESO	1		0.5	0.5	3	0.25
CONEXIONES	0.5	0.2		0.5	2.2	0.18
DISPONIBILIDAD	1	0.5	0.5		3	0.25
				SUMA	12.2	1.00

Evaluación de soluciones - COSTO

COSTO	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0	1.5	0.38
SOLUCION 2	0.5		0	1.5	0.38
SOLUCION 3	0	0		1	0.25
			SUMA	4	1.00

Evaluación de soluciones - PESO

PESO	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0	0	1	0.25
SOLUCION 2	0.5		0	1.5	0.38
SOLUCION 3	1	1		3	0.75
			SUMA	5.5	1.38

Evaluación de soluciones - CONEXION

CONEXIÓN	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0.5	2	0.50
SOLUCION 2	0.5		0.5	2	0.50
SOLUCION 3	1	1		3	0.75
			SUMA	7	1.75

Evaluación de soluciones - DISPONIBILIDAD

DISPONIBILIDAD	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0.5	2	0.50
SOLUCION 2	0.5		0.5	2	0.50
SOLUCION 3	0.5	1		2.5	0.63
			SUMA	6.5	1.63

Conclusiones para VIGA

RESUMEN	COSTO	PESO	CONEXIONES	DISPONIBILIDAD	E	PRIORIDAD
SOLUCION 1	0.123	0.061	0.090	0.123	0.398	3.00
SOLUCION 2	0.123	0.092	0.090	0.123	0.428	2.00
SOLUCION 3	0.082	0.184	0.135	0.154	0.555	1.00

ANEXO V. Evaluación de alternativa (MÓDULO 3. Correa)

Ponderación de los criterios para CORREA

CRITERIO	COSTO	PESO	CONEXIONES	DISPONIBILIDAD	E+1	Ponderación
COSTO		1	1	1	4	0.33
PESO	1		0.5	0.5	3	0.25
CONEXIONES	0.5	0.2		0.5	2.2	0.18
DISPONIBILIDAD	1	0.5	0.5		3	0.25
				SUMA	12.2	1.00

Evaluación de soluciones - COSTO

COSTO	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0	1.5	0.25
SOLUCION 2	0.5		0	1.5	0.25
SOLUCION 3	1	1		3	0.50
			SUMA	6	1.00

Evaluación de soluciones - PESO

PESO	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0	1.5	0.25
SOLUCION 2	0.5		0	1.5	0.25
SOLUCION 3	1	1		3	0.50
			SUMA	6	1.00

Evaluación de soluciones - CONEXION

CONEXIÓN	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0.5	2	0.33
SOLUCION 2	0.5		0.5	2	0.33
SOLUCION 3	1	1		3	0.50
			SUMA	7	1.17

Evaluación de soluciones - DISPONIBILIDAD

DISPONIBILIDAD	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	E+1	Ponderación
SOLUCION 1		0.5	0.5	2	0.33
SOLUCION 2	0.5		0.5	2	0.33
SOLUCION 3	0.5	1		2.5	0.42
			SUMA	6.5	1.08

Conclusiones para CORREA

RESUMEN	COSTO	PESO	CONEXIONES	DISPONIBILIDAD	E	PRIORIDAD
SOLUCION 1	0.082	0.061	0.060	0.082	0.286	3.00
SOLUCION 2	0.082	0.061	0.060	0.082	0.286	2.00
SOLUCION 3	0.164	0.123	0.090	0.102	0.480	1.00

ANEXO VI. Parámetro de construcción según altura, NEC-SE-CG-2015

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

ANEXO VII. Parámetro de entorno/altura – (Rodríguez, 2015)

Entorno del edificio	Altura elemento sobre nivel de suelo exterior (m)					
	3	5	10	20	30	50
Centro de grandes ciudades	1.63	1.63	1.63	1.63	1.68	2.15
Zonas urbanas	1.63	1.63	1.63	1.96	2.32	2.82
Zonas Rurales	1.63	1.63	1.89	2.42	2.75	3.20
Terreno abierto son obstáculos	1.64	1.93	2.35	2.81	3.09	3.47

ANEXO VIII. Coeficiente según la forma de construcción, NEC-SE-CG-2015

Construcción	Coeficiente C_r
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

ANEXO IX. Zona sísmica del Ecuador – CPE-INEN-5-Parte 1, Cap 12

CIUDAD	PROVINCIA	CANTÓN	PARROQUIA	ZONA
GUALAQUIZA	MORONA SANTIAGO	GUALAQUIZA	GUALAQUIZA	II
MACAS	MORONA SANTIAGO	MORONA	GENERAL PROAÑO	II
PABLO SEXTO	MORONA SANTIAGO	HUAMBOYA	HUAMBOYA	II
SAN JUAN BOSCO	MORONA SANTIAGO	SAN JUAN BOSCO	SAN JUAN BOSCO	II
SANTIAGO DE MÉNDEZ	MORONA SANTIAGO	SANTIAGO	SANTIAGO DE MÉNDEZ	II
SUCUA	MORONA SANTIAGO	SUCUA	SANTA MARIANITA DE JESÚS	II
PALORA	MORONA SANTIAGO	PALORA	PALORA (METZERA)	III

ANEXO X. Factor Z – Según la población

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
JAMA	JAMA	JAMA	MANABI	0.50
MANTA	MONTECRISTI	MONTECRISTI	MANABI	0.50
SAN CLEMENTE	CHARAPOTO	SUCRE	MANABI	0.50
SAN PABLO	SAN PABLO (PUEBLO NUEVO)	SANTA ANA	MANABI	0.40
EL CARMEN	EL CARMEN	EL CARMEN	MANABI	0.40
LA BRAMADORA	EL CARMEN	EL CARMEN	MANABI	0.40
BARRAGANETE	BARRAGANETE	PICHINCHA	MANABI	0.40
MEMBRILLO	MEMBRILLO	BOLIVAR	MANABI	0.40
OLMEDO	OLMEDO	OLMEDO	MANABI	0.40
PICHINCHA	PICHINCHA	PICHINCHA	MANABI	0.40
LA UNION	LA UNION	SANTA ANA	MANABI	0.40
LASCANO	LASCANO	PAJAN	MANABI	0.40
GUALE	GUALE	PAJAN	MANABI	0.40
BAHIA DE CARAQUEZ	BAHIA DE CARAQUEZ	SUCRE	MANABI	0.50
MACHALILLA	MACHALILLA	PUERTO LOPEZ	MANABI	0.50
PUERTO DE CAYO	PUERTO DE CAYO	JIPIJAPA	MANABI	0.50
PUERTO RICO	SALANGO	PUERTO LOPEZ	MANABI	0.50
PALORA	PALORA (METZERA)	PALORA	MORONA SANTIAGO	0.30
PABLO SEXTO	PABLO SEXTO	PABLO SEXTO	MORONA SANTIAGO	0.30
GENERAL LEONIDAS PLAZA GUTIERREZ	GRAL. LEONIDAS PLAZA GUTIERREZ	LIMON INDANZA	MORONA SANTIAGO	0.30
SANTIAGO DE MENDEZ	SANTIAGO DE MENDEZ	SANTIAGO	MORONA SANTIAGO	0.30
SUCUA	SUCUA	SUCUA	MORONA SANTIAGO	0.30
MACAS	MACAS	MORONA	MORONA SANTIAGO	0.30

ANEXO XI. Zonas sísmicas - NEC-SE-DS

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

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

ANEXO XII. Tipo de suelo y factores de sitio Fa - NEC-SE-DS

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

ANEXO XIII. Tipo de suelo y factores de sitio Fd - NEC-SE-DS

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

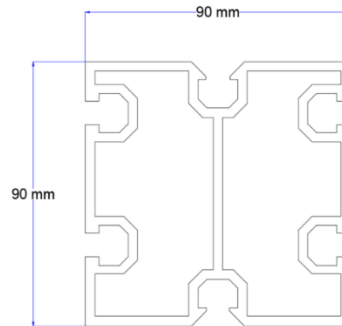
ANEXO XIV. Tipo de suelo y factores de sitio Fs - NEC-SE-DS

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

ANEXO XV. Importancia de Construcción de Estructura - NEC-SE-DS

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

ANEXO XVI. Propiedades físicas de Perfil de Aluminio (Interfaz AutoCAD)



Comando: Precise esquina opuesta o [Borde/polígonoOV/polígonoOC]:

Comando: PROPFIS

Designe objetos: Designe esquina opuesta: 10 encontrados

Designe objetos:

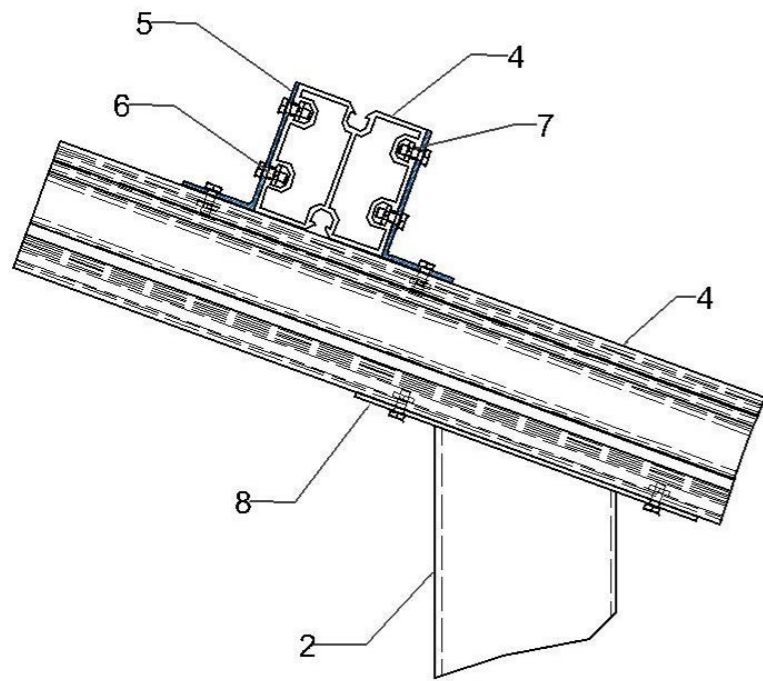
----- REGIONES -----

- Área: 1877.5755 mm²
- Perímetro: 1281.4695 mm
- Cuadro delimitador: X: -45.0000 -- 45.0000
Y: -47.6306 -- 41.9641
- Centro de gravedad: X: -0.0190
Y: -2.2069
- Momentos de inercia: X: 1815872.8576
Y: 1811108.6024
- Producto de inercia: XY: -78.6656
- Radios de giro: X: 31.0988
Y: 31.0580
- Momentos principales y direcciones X-Y alrededor del centro de gravedad:
I: 1806728.4385 a lo largo de [1.0000 0.0000]
J: 1811107.9256 a lo largo de [0.0000 1.0000]

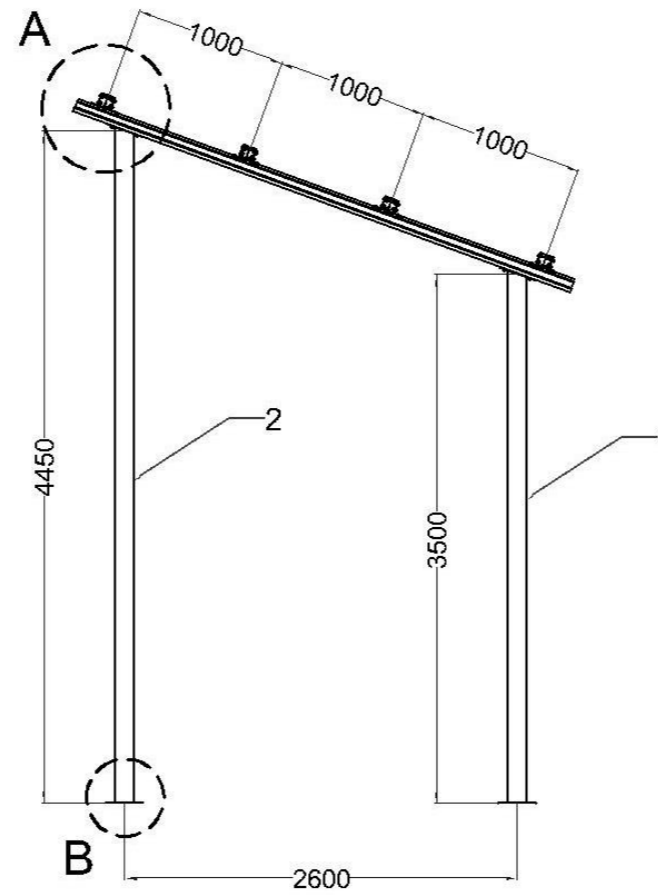
ANEXO XVII. Factores de Capacidad de Carga de Terzaghi – CIMENTACION

φ	N_c	N_q	N_γ
0	5.70	1.00	0.00
1	6.00	1.10	0.01
2	6.30	1.22	0.04
3	6.62	1.35	0.06
4	6.97	1.49	0.10
5	7.34	1.64	0.14
6	7.73	1.81	0.20
7	8.15	2.00	0.27
8	8.60	2.21	0.35
9	9.09	2.44	0.44
10	9.61	2.69	0.56
11	10.16	2.98	0.69
12	10.76	3.29	0.85
13	11.41	3.63	1.04
14	12.11	4.02	1.26
15	12.86	4.45	1.52
16	13.68	4.92	1.82
17	14.60	5.45	2.18
18	15.12	6.04	2.59
19	16.56	6.70	3.07
20	17.69	7.44	3.64
21	18.92	8.26	4.31
22	20.27	9.19	5.09
23	21.75	10.23	6.00
24	23.36	11.40	7.08
25	25.13	12.72	8.34
26	27.09	14.21	9.84
27	29.24	15.90	11.60
28	31.61	17.81	13.70
29	34.24	19.98	16.18
30	37.16	22.46	19.13
31	40.41	25.28	22.65
32	44.04	28.52	26.87
33	48.09	32.23	31.94
34	52.64	36.50	38.04
35	57.75	41.44	45.41
36	63.53	47.16	54.36
37	70.01	53.80	65.27
38	77.50	61.55	78.61
39	85.97	70.61	95.03
40	95.66	81.27	115.31
41	106.81	93.85	140.51
42	119.67	108.75	171.99
43	134.58	126.50	211.56
44	151.95	147.74	261.60

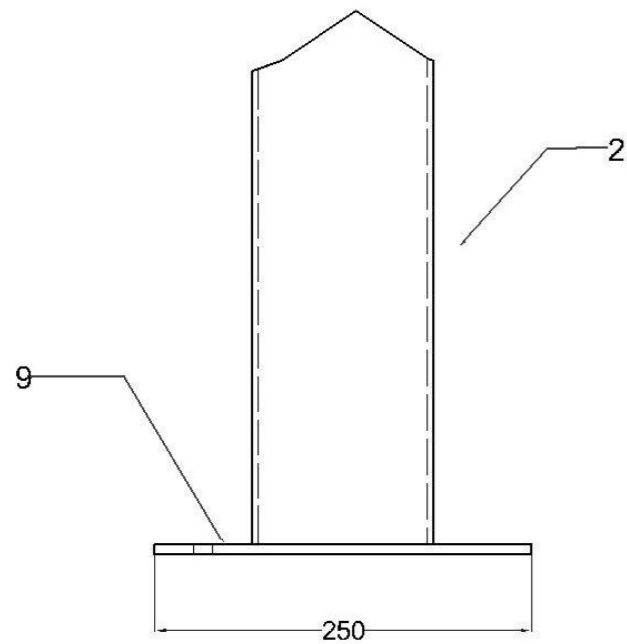
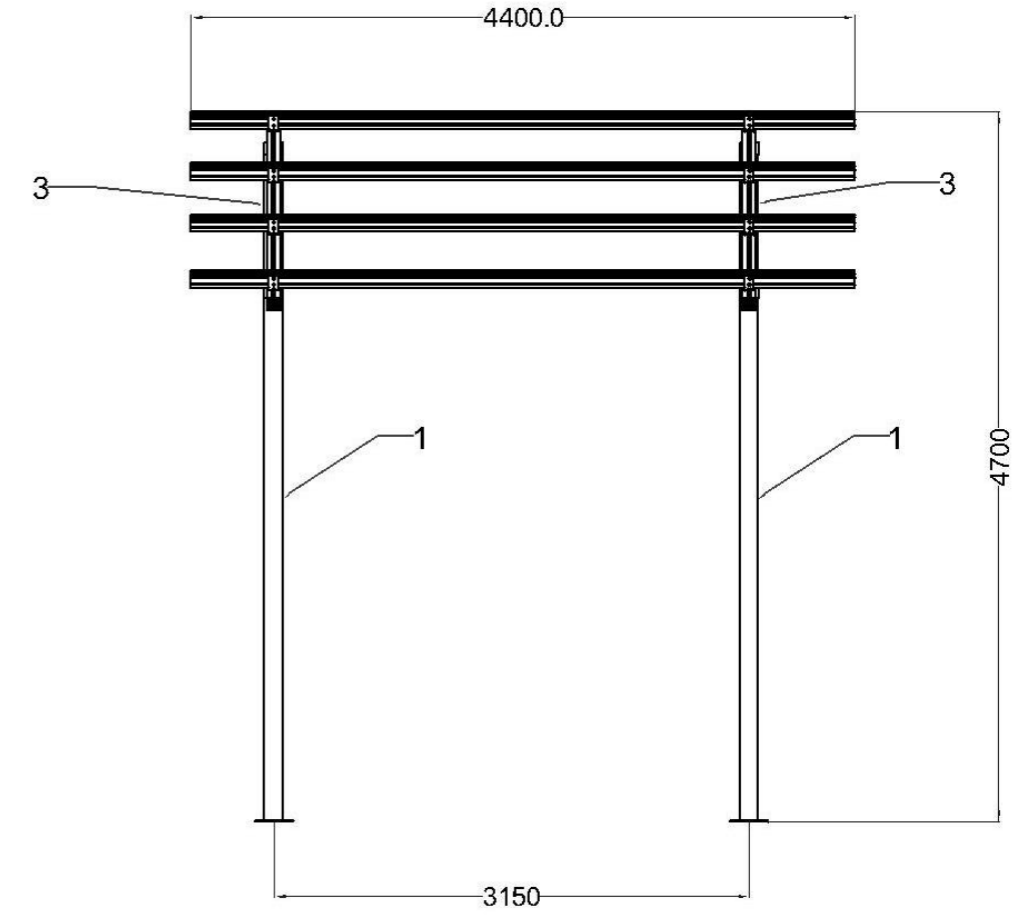
ANEXO XVIII. Planos del sistema de montaje



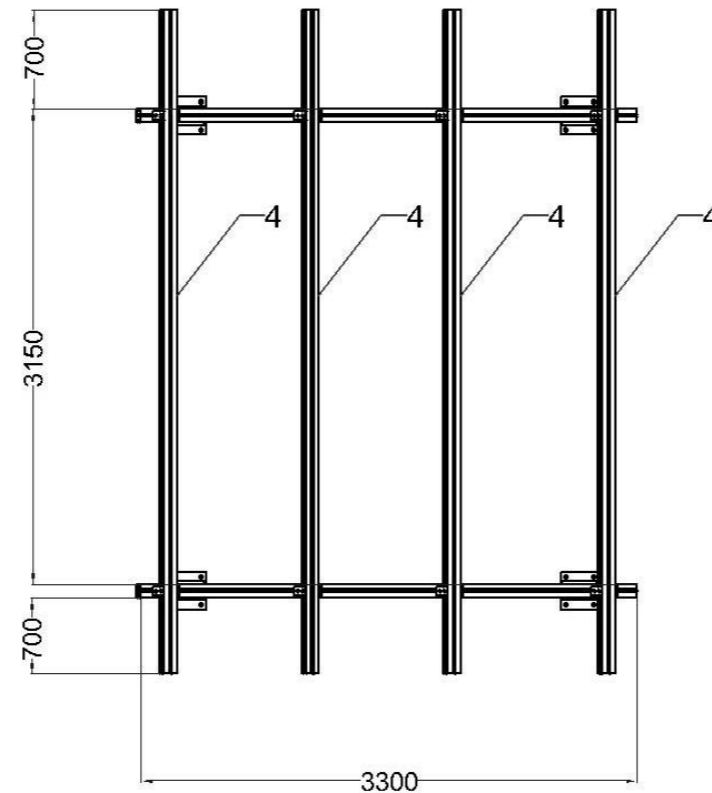
DETALLE A
ESCALA 1 / 5



DETALLE B
ESCALA 1 / 5



DETALLE B
ESCALA 1 / 5



N°	ZONA	DENOMINACION	PLANO	CANT	MATERIAL	OBSERVACION
9	A1	PLACA BASE	SMFV-01.01.01	4	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
8	B1	PLACA APOYO VIGA	SMFV-01.02.01	4	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
7	D1	TUERCA CUADRADA	SMFV-01.00.00	56	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
6	D1	PERNO HEXAGONAL	SMFV-01.00.00	56	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
5	D1	PLACA VIGA CORREA	SMFV-01.04.01	16	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
4	C1	CORREA	SMFV-01.03.01	4	ALUMINIO	6061 T6
3	B1	VIGA	SMFV-01.02.01	2	ALUMINIO	6061 T6
2	A1	COLUMNA POSTERIOR	SMFV-01.01.04	2	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
1	A1	COLUMNA DELANTERA	SMFV-01.01.03	2	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO

EPN

FACULTAD DE
INGENIERÍA MECÁNICA

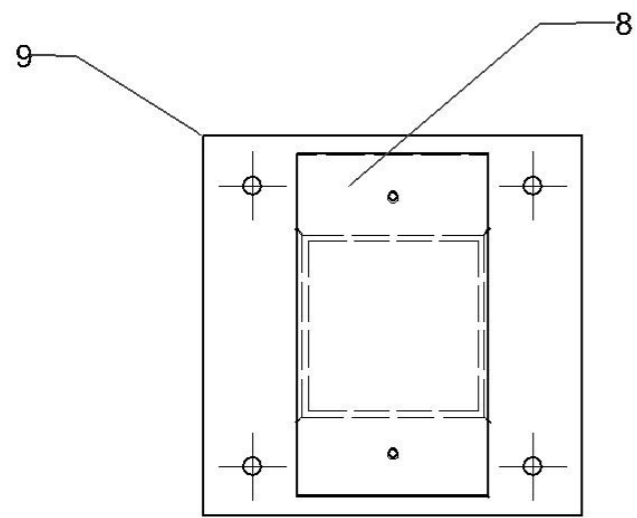
Dib. Pesantez Kevin
Dis. Pesantez Kevin
Rev. Dr. Valencia Esteban

Escala:
1:50

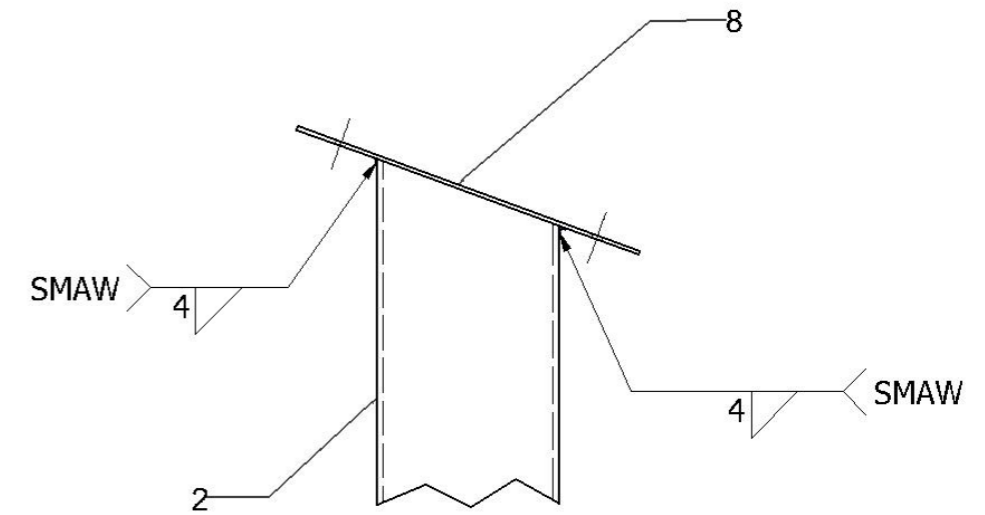
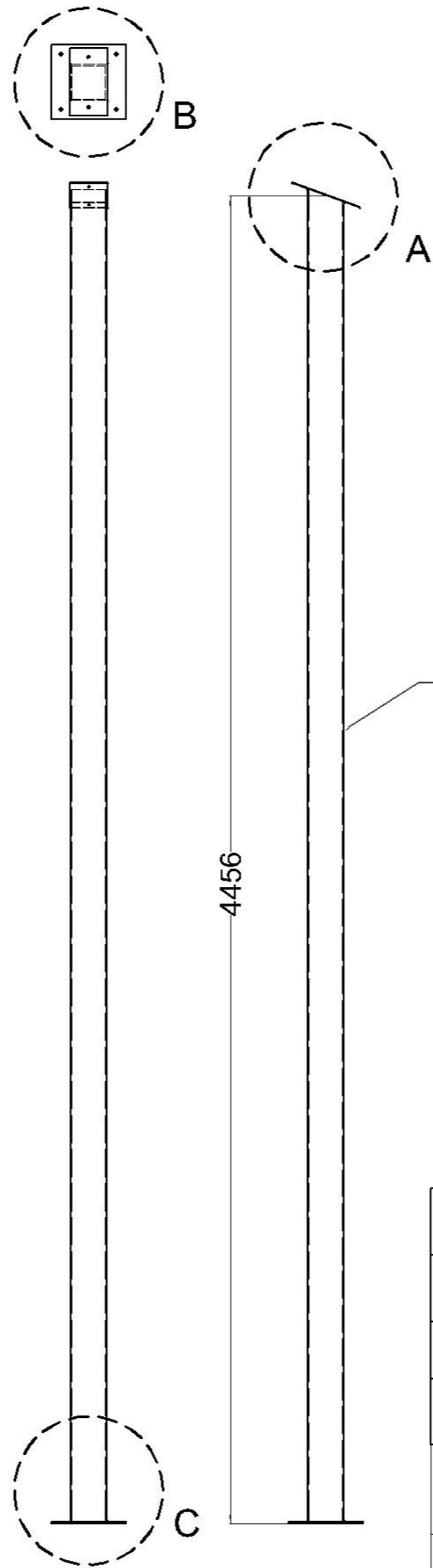
Sist. Montaje Fotovoltaico

SMFV-01.00.00

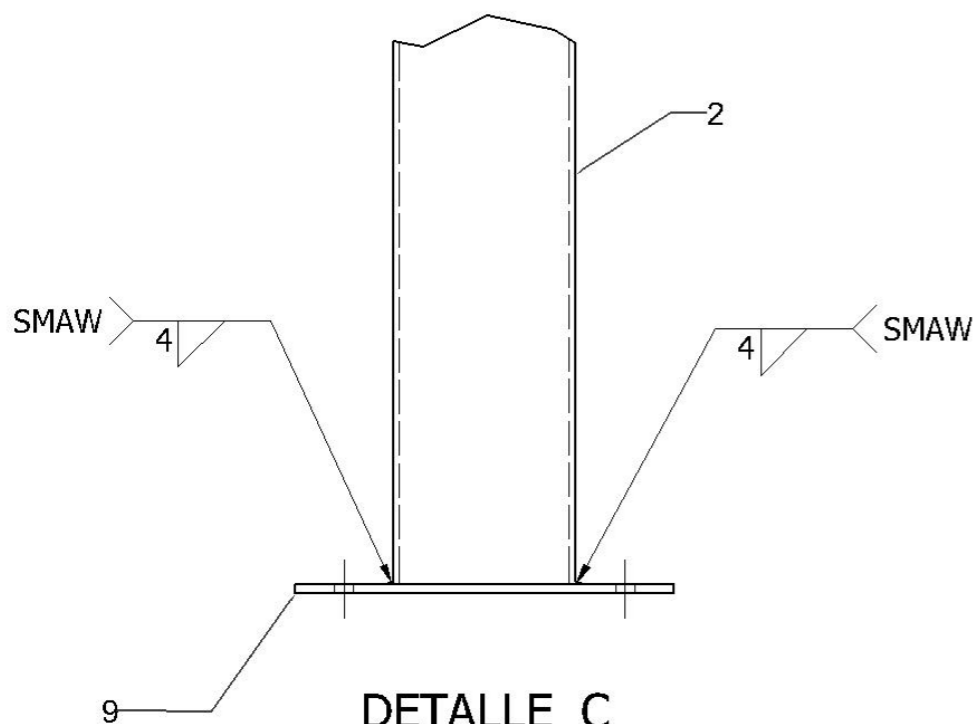
Fecha:
18/02/2023



DETALLE B
ESCALA 1 / 5



DETALLE A
ESCALA 1 / 5



DETALLE C
ESCALA 1 / 5

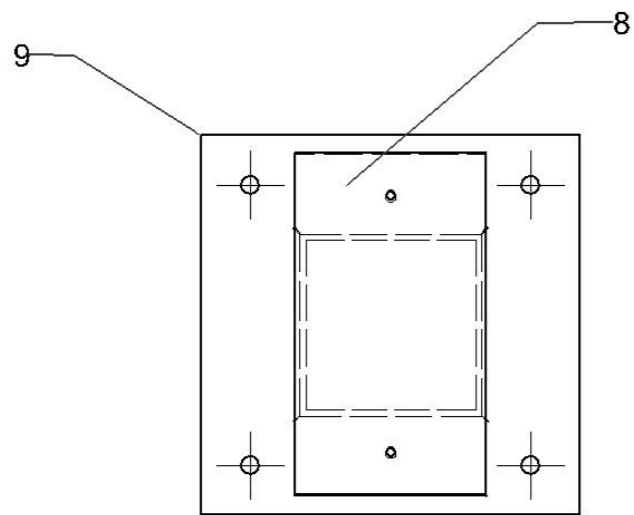
N°	ZONA	DENOMINACION	PLANO	CANT	MATERIAL	OBSERVACION
9	A1	PLACA BASE	SMFV-01.01.01	2	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
8	A1	PLACA APOYO VIGA	SMFV-01.01.02	2	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
2	A1	COLUMNA POSTERIOR	SMFV-01.01.04	2	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO

EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	Dib.	Pesantez Kevin	Escala: 1:50
		Dis.	Pesantez Kevin	
		Rev.	Dr. Valencia Esteban	

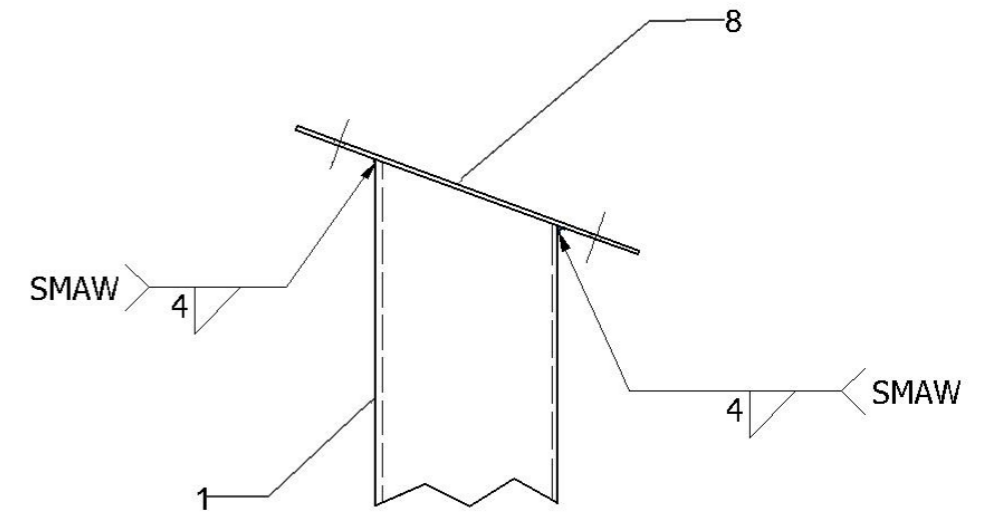
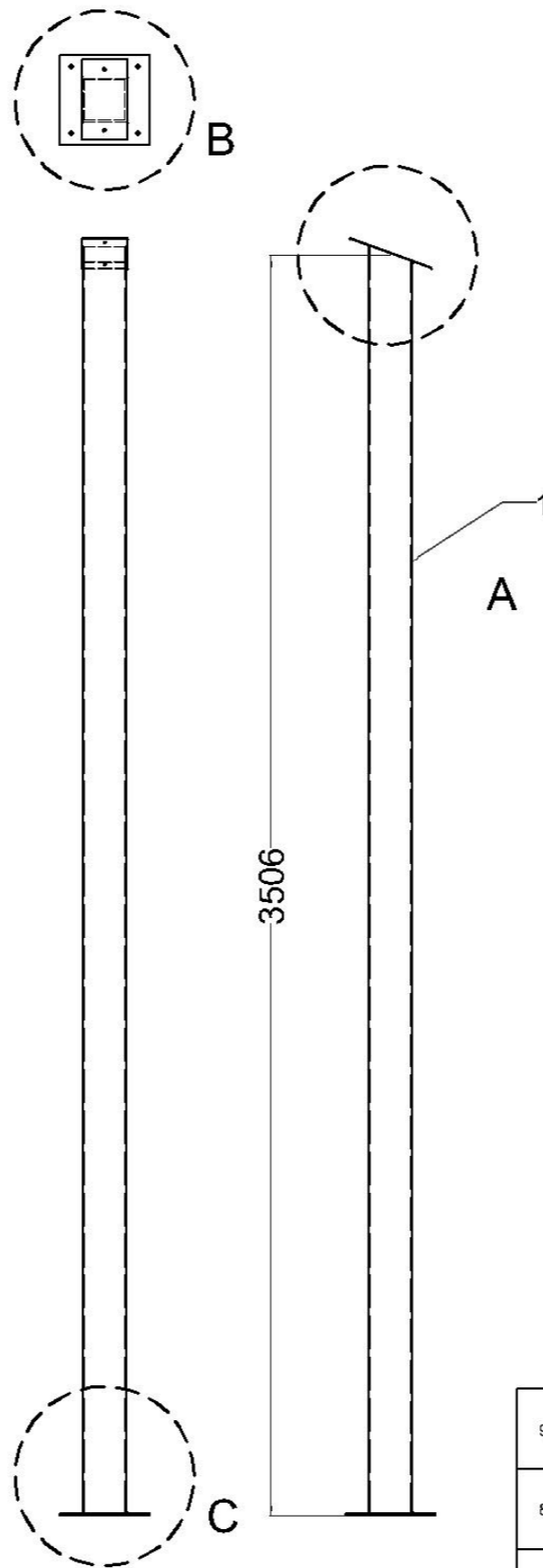
COLUMNA POSTERIOR - PLACAS

SMFV-01.01.02

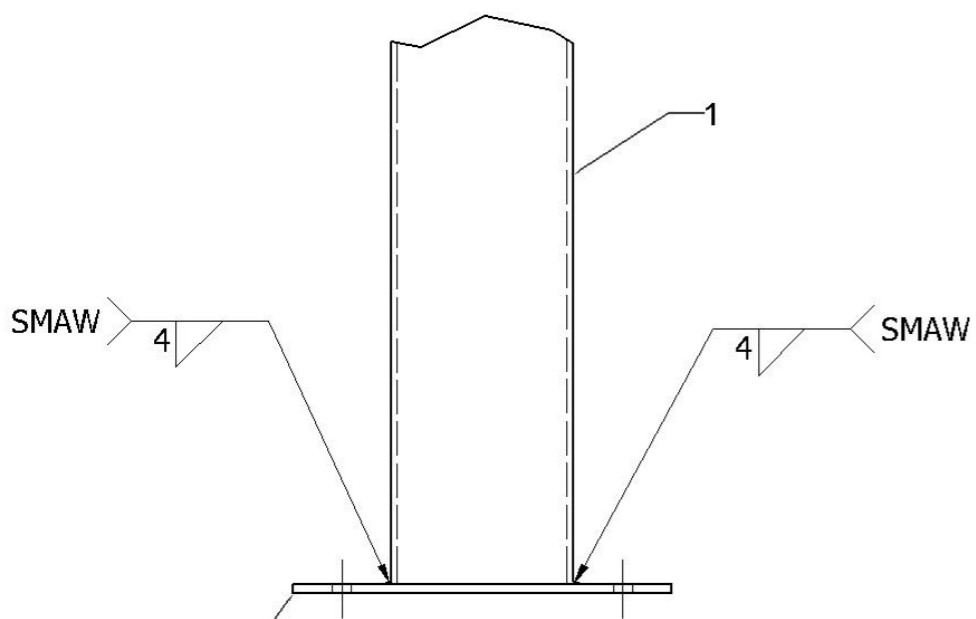
Fecha:
18/02/2023



DETALLE B
ESCALA 1 / 5



DETALLE A
ESCALA 1 / 5



DETALLE C
ESCALA 1 / 5

9	A1	PLACA BASE	SMFV-01.01.01	2	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
8	A1	PLACA APOYO VIGA	SMFV-01.01.02	2	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
1	A1	COLUMNA DELANTERA	SMFV-01.01.03	2	ACERO ASTM A-36	GALVANIZADO
N°	ZONA	DENOMINACION	PLANO	CANT	MATERIAL	OBSERVACION

EPN

FACULTAD DE
INGENIERÍA MECÁNICA

Dib. Pesantez Kevin

Dis. Pesantez Kevin

Rev. Dr. Valencia Esteban

Escala:

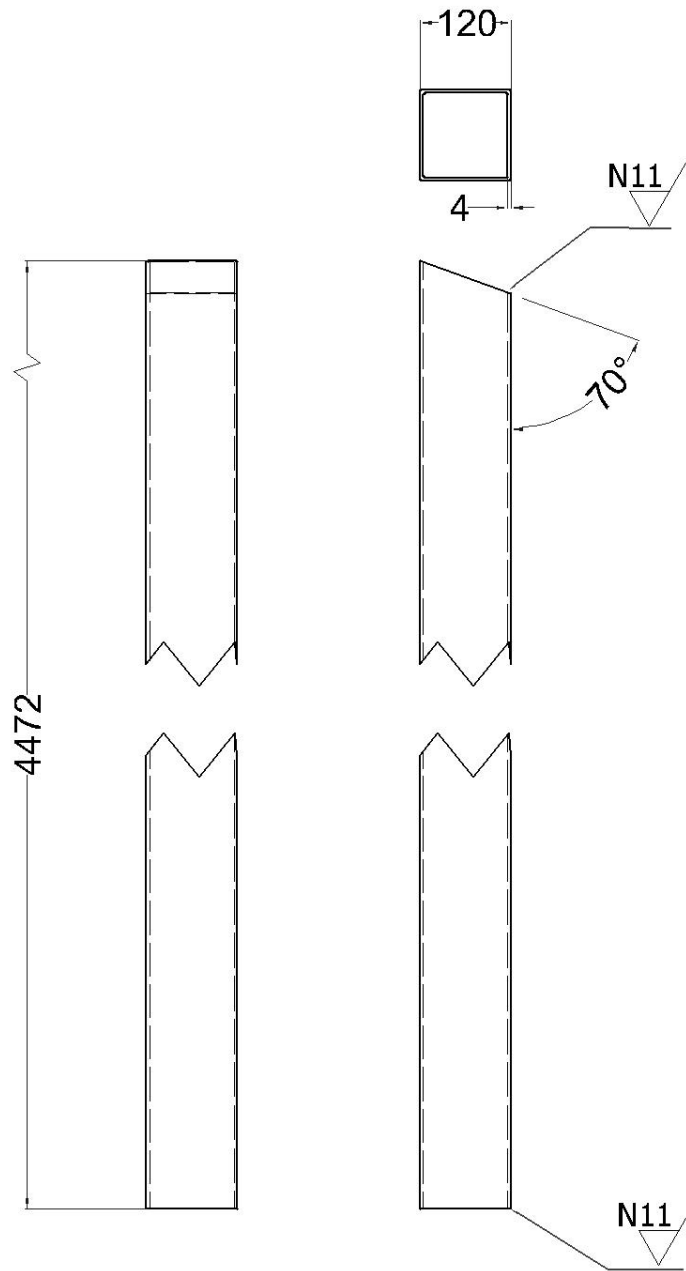
1:50

COLUMNA DELANTERA - PLACAS

SMFV-01.00.01

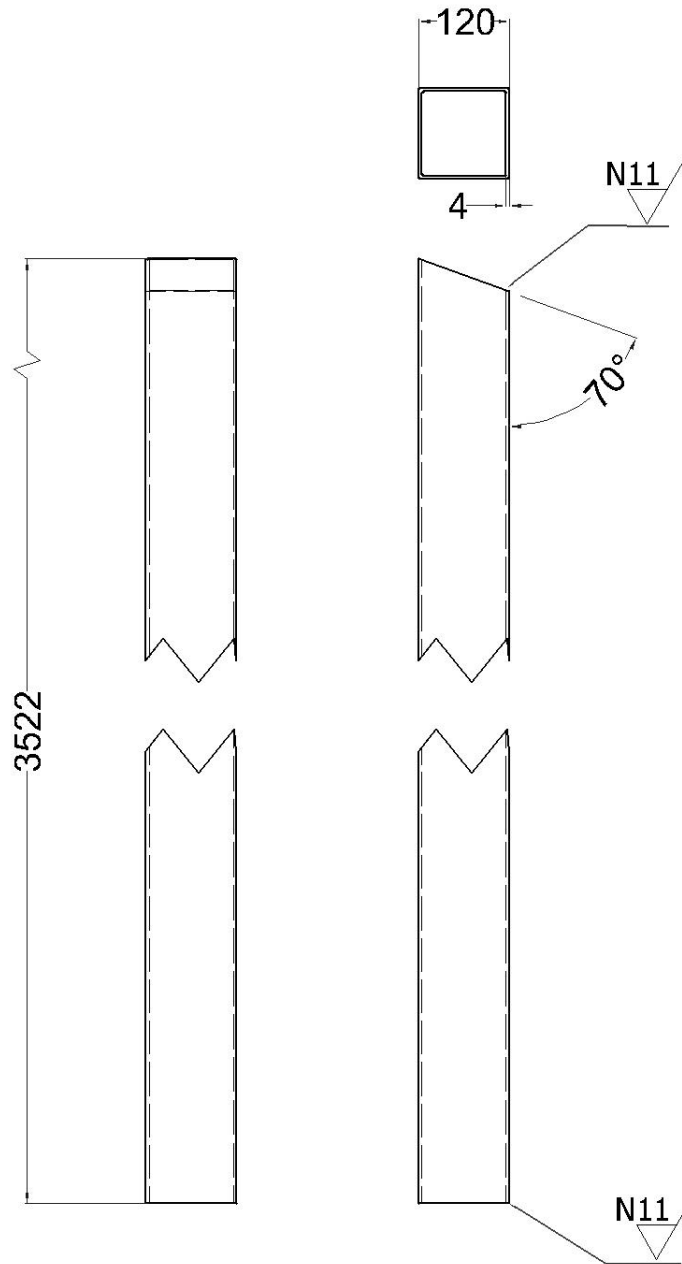
Fecha:
18/02/2023

N8 / (N11)

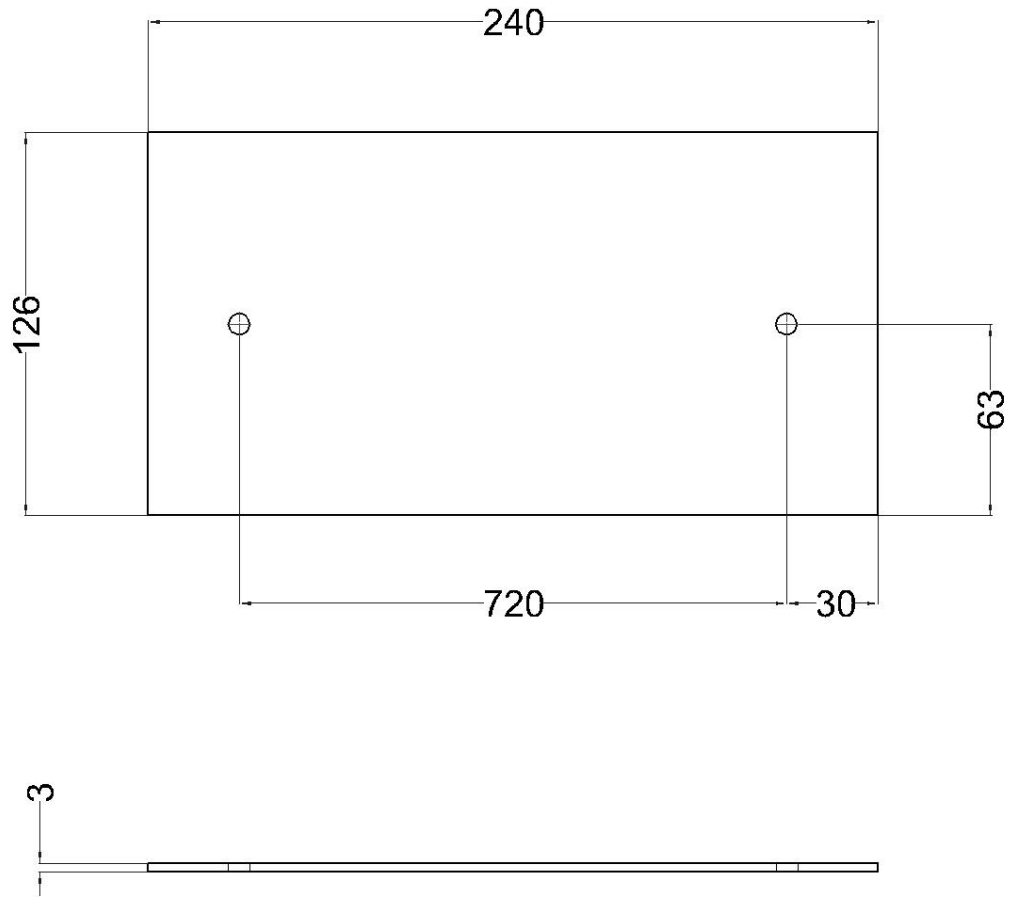


Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Pesantez Kevin
MATERIAL:		Tol.Gral	Escala:	Dis.
ACERO A36		+0.05	1:10	Pesantez Kevin
				Rev.
				Dr. Valencia Esteban
COLUMNA POSTERIOR			SMFV-01.01.04	
			Fecha: 18/02/2023	

N8 (N11)

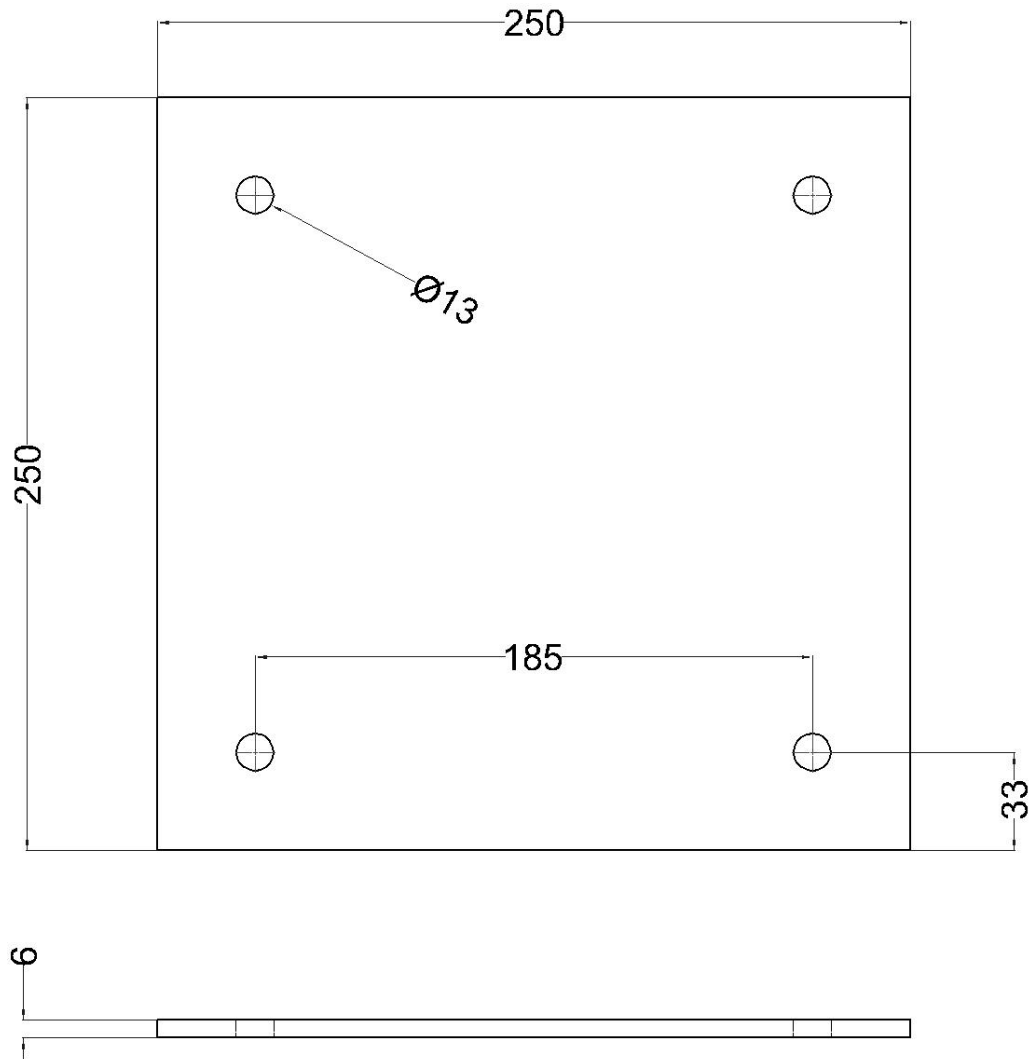


Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Pesantez Kevin	
MATERIAL:		Tol.Gral +0.05	Escala: 1:10	Dis.	Pesantez Kevin
ACERO A36				Rev.	Dr. Valencia Esteban
COLUMNA DELANTERA			SMFV-01.01.03		Fecha: 18/02/2023



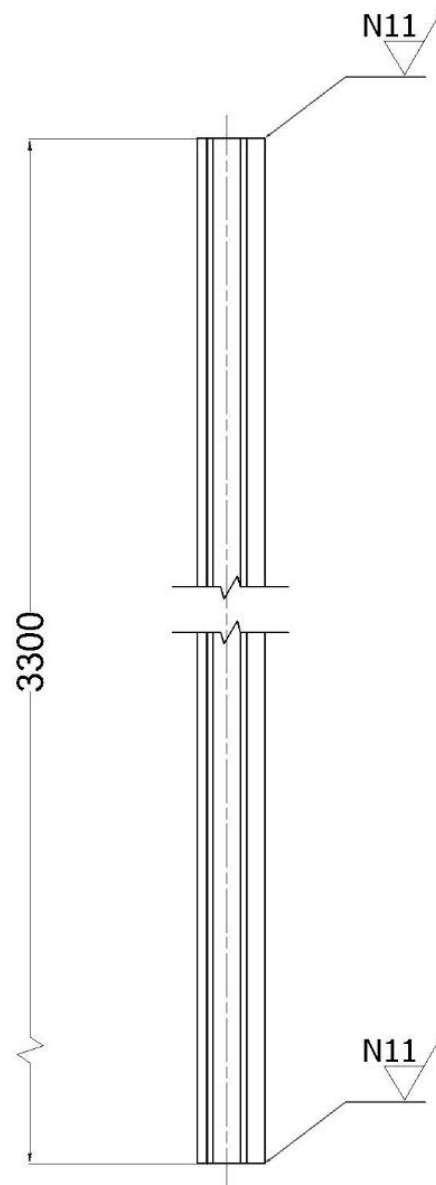
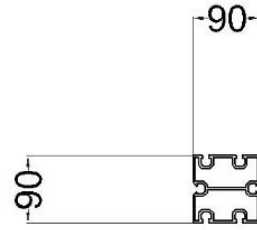
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Pesantez Kevin
MATERIAL:		Escala: 1:2.5	Dis.	Pesantez Kevin
ACERO A36			Rev.	Dr. Valencia Esteban
Tol.Gral +0.05				
PLACA APOYO VIGA		SMFV-01.01.02		Fecha: 18/02/2023

N8 / (N11)



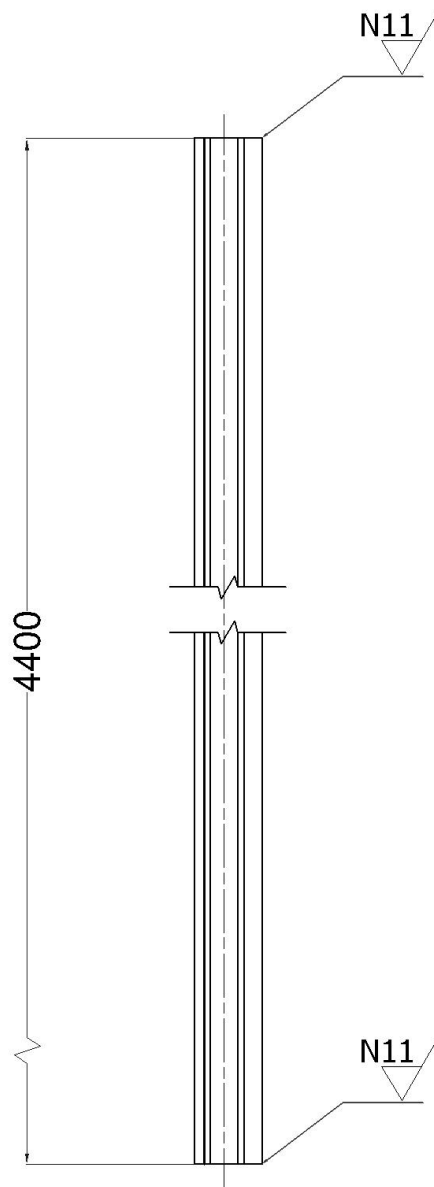
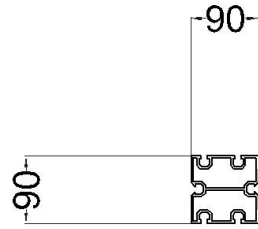
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Pesantez Kevin	
MATERIAL:		Tol.Gral	Escala:	Dis.	Pesantez Kevin
ACERO A36		+0.05	1:2.5	Rev.	Dr. Valencia Esteban
PLACA BASE			SMFV-01.01.01		Fecha: 18/02/2023

N8 (N11)



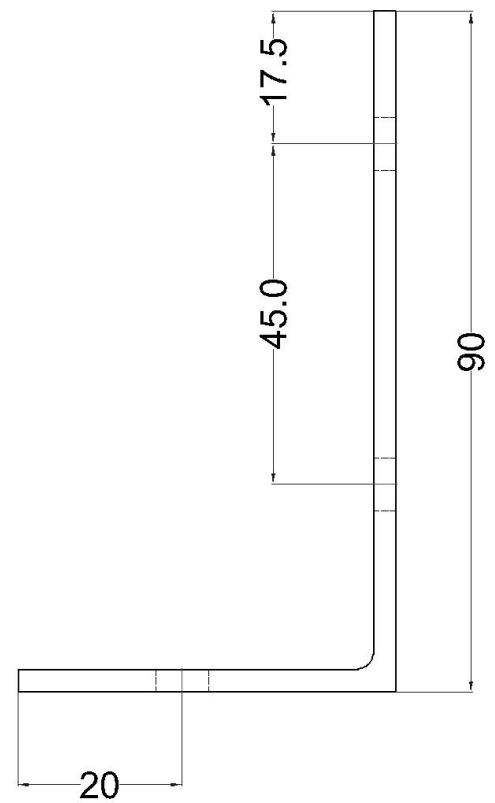
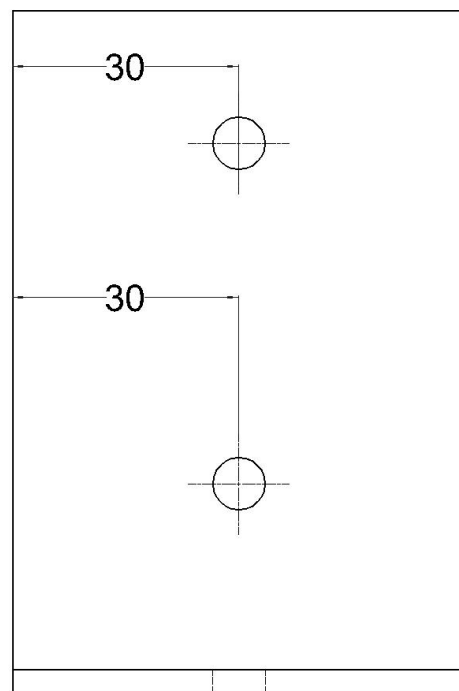
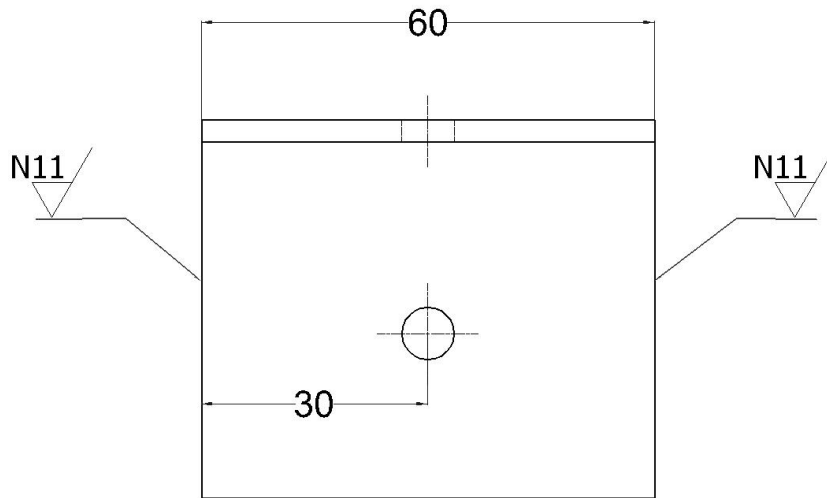
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Pesantez Kevin	
MATERIAL:	ALUMINIO	Tol.Gral +0.05	Escala:	Dis.	Pesantez Kevin
				1:10	Rev.
VIGA		SMFV-01.03.01		Fecha: 18/02/2023	

N8 (N11)



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Pesantez Kevin	
MATERIAL:	ALUMINIO	Tol.Gral +0.05	Escala:	Dis.	Pesantez Kevin
				1:10	Rev.
CORREA		SMFV-01.02.01		Fecha: 18/02/2023	

N8 (N11)



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Pesantez Kevin
MATERIAL:		Escala: 1:1	Dis.	Pesantez Kevin
ACERO A36			Rev.	Dr. Valencia Esteban
Tol.Gral +0.05			PLACA UNION VIGA - CORREA	
		SMFV-01.04.01		Fecha: 18/02/2023