

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica
Eléctrica y Mecatrónica



**“DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL
ROTATORIO DE USO DOMESTICO E INDUSTRIAL”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Vargas Angulo, Ernesto Anthony

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico

Asesor:

Mg. Sierra Vásquez, Julio Raúl

Arequipa – Perú

2022

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 14 de Octubre del 2022

Dictamen: 005756-C-EPIMMEM-2022

Visto el borrador del expediente 005756, presentado por:

2010701971 - VARGAS ANGULO ERNESTO ANTHONY

Titulado:

**DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL ROTATORIO DE USO
DOMESTICO E INDUSTRIAL**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1530 - FERNANDEZ BARRIGA CAMILO GRIMALDO
DICTAMINADOR**



**1828 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR**



**3040 - VALDEZ LOAIZA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

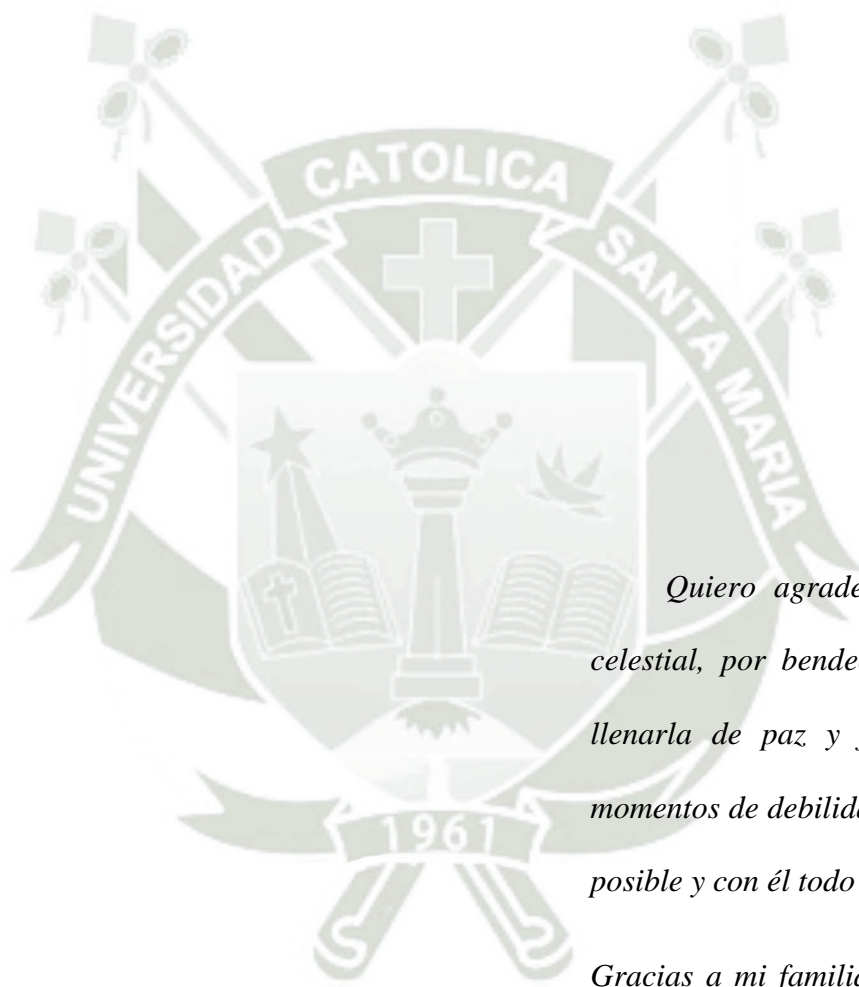
A mis padres. Ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio.

Siempre han sido mis mejores guías de vida.

Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro amados padres, como una meta más conquistada de las muchas que están en camino.



Agradecimientos



Quiero agradecer a mi padre celestial, por bendecir mi vida, por llenarla de paz y fortaleza en los momentos de debilidad, sin él nada es posible y con él todo es posible.

Gracias a mi familia y maestros por sus conocimientos y enseñanzas impartidas, en todo este proceso de formación profesional.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el estudio teórico de un nuevo diseño estructural de un concentrador solar tipo Fresnel rotatorio para su aprovechamiento y uso en los sectores doméstico e industrial. El desarrollo está basado en el estudio térmico y geométrico de un colector Fresnel solar con la característica de movimiento rotatorio. De esta manera se tienen las limitaciones técnicas que debe cumplir el modelo propuesto, con relación a la deformación natural debida a la acción de la gravedad y en torno a la rotación para su correcto funcionamiento y desempeño.

Se ha utilizado las técnicas de diseño asistido por computadora, mediante la utilización de elementos finitos para comprobar el estado de esfuerzo general del dispositivo presentado con ayuda del software de simulación Ansys Inc. También se ha desarrollado el sustento técnico de la propuesta por medio del proceso de diseño mecánico referido a la generación del concepto de solución.

La influencia de la deformación ha sido primordial en el diseño estructural presentado (hasta 20 mm) con el fin de obtener un prototipo accesible y de costo bajo. Finalmente, el módulo cumplió con los requisitos de diseño propuestos, y se verificó factores de diseño recomendados por la AISC y la AWS.

Palabras clave: Concentrador solar, Lente Fresnel, Esfuerzo equivalente de von-Mises, Calentamiento de agua, Diseño estructural.

ABSTRACT

The objective of this work is the theoretical study of a new structural design of a rotating Fresnel solar concentrator for its use in the domestic and industrial sectors. The development is based on the thermal and geometrical study of a solar Fresnel collector with the characteristic of rotating movement. In this way, the technical limitations that the proposed model must comply with, in relation to the natural deformation due to the action of gravity and around the rotation for its correct operation and performance, are considered.

Computer aided design techniques have been used, through the use of finite elements to check the general stress state of the device presented with the help of the simulation software Ansys Inc. The technical support of the proposal has also been developed through the mechanical design process referred to the generation of the solution concept.

The influence of deformation has been paramount in the structural design presented (up to 20 mm) in order to obtain an accessible and low-cost prototype. Finally, the module complied with the proposed design requirements, and design factors recommended by AISC and AWS were verified.

Keywords: Solar collector, Fresnel lens, Equivalent stress von-Misses, Heating of water, Structural Design.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	4
1.1. Identificación del problema	4
1.2. Descripción del problema	5
1.3. Justificación de la investigación	5
1.3.1. Justificación técnica	5
1.3.2. Justificación social	5
1.3.3. Justificación económica	6
1.3.4. Justificación ambiental	6
1.4. Objetivos de la investigación	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Hipótesis	6
1.6. Limitaciones de la investigación	7
1.6.1. Espacio disponible	7
1.6.2. Inversión	7
1.6.3. Producción energética	7
CAPÍTULO II	8
2. MARCO TEORICO	9
2.1. Energía solar: Aspecto del diseño fluido-termodinámico	9
2.1.1. Introducción	9
2.1.2. Sistema de reflector de Fresnel lineal	11

2.1.3.	Sistemas de captación de energía solar mediante el uso de reflectores lineales Fresnel: Estado del arte	12
2.1.4.	Formulación matemática	17
2.2.	Teoría sobre simulación por elementos finitos	23
2.2.1.	Sobre Ansys	23
2.2.2.	Mecánica estructural	23
2.2.3.	Desplazamiento	23
2.2.4.	Esfuerzo	23
2.2.5.	Ecuaciones de Gobierno	24
CAPÍTULO III		26
3.	METODOLOGÍA DEL DISEÑO	27
3.1.	Introducción	27
3.2.	Método de evaluación: VDI 2225	27
3.2.1.	Ventajas	28
3.2.2.	Desventajas:	28
3.2.3.	Lista de exigencias	29
3.3.	Lista de funciones	31
3.3.1.	Estructura principal	31
3.3.2.	Armadura exterior	33
3.3.3.	Sistema de rotación	34
3.3.4.	Sistema de contrapesas	34
3.4.	Esquema de la caja negra del sistema	35
3.5.	Matriz morfológica del diseño	36
3.6.	Evaluación del concepto de solución	37
3.6.1.	Alternativa 1 (Alta eficiencia):	37
3.6.2.	Alternativa 2 (Intermedia):	38

3.6.3. Alternativa 3 (Intermedia):	38
3.6.4. Alternativa 4 (Económica):	40
3.7. Evaluación técnica-económica.....	41
CAPÍTULO IV	44
4. DISEÑO ESTRUCTURAL.....	45
4.1. Introducción	45
4.2. Diseño geométrico de la estructura.....	45
4.2.1. Diseño óptico de la propuesta.....	45
4.2.2. Diseño térmico de la propuesta	50
4.3. Diseño estructural	54
4.3.1. Diseño preliminar del arreglo de vigas.....	54
4.3.2. Diseño cinemático de la estructura.....	75
4.3.3. Caso de estudio: Transmisión de potencia	77
4.4. Simulación estructural del modelo final	93
4.4.1. Discretización del modelo	93
4.4.2. Caso de estudio: Giro nulo (0°).....	97
4.4.3. Caso de estudio: Giro máximo (90°).....	103
4.4.4. Diseño de las uniones de la estructura.....	110
CAPÍTULO V	125
CONCLUSIONES.....	126
RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
ANEXOS	134
Anexo 1: Factor de retraso de cortante usado para soldadura	135
Anexo 2: Tabla J2.5 del Manual de la AISC.....	136
Anexo 3: Especificaciones técnicas del electrodo.....	139

Anexo 4: Esfuerzos considerados en soldadura (Manual de Diseño para la Construcción con Acero)	140
Anexo 5: Especificaciones técnicas de rodamiento.....	141
Anexo 6: Catálogo de productos Aceros Arequipa (solo perfiles utilizados)	143
Anexo 7: Ingeniería de detalle.....	147



Lista de figuras

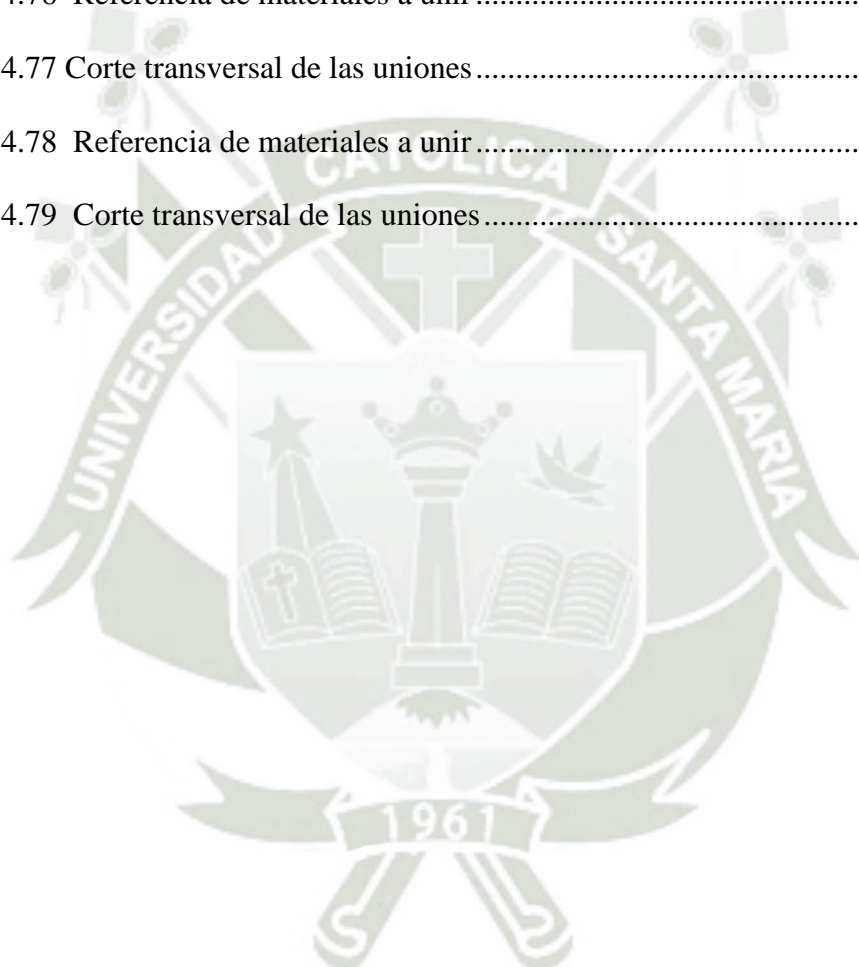
Figura 2.1 Concepto gráfico del funcionamiento de aprovechamiento de energía solar mediante el uso de lentes Fresnel	10
Figura 2.2 Esquema de funcionamiento con los componentes básicos del concentrador Fresnel	12
Figura 2.3 Campo solar Fresnel lineal.....	17
Figura 2.4 Dimensiones características de un sistema LFR	18
Figura 2.5 Características del sistema receptor-cubierta.....	20
Figura 3.1 Espejos en colectores Fresnel	31
Figura 3.2 Conjunto de receptor secundario.....	32
Figura 3.3 Concentrador parabólico compuesto (CPC).....	32
Figura 3.4 Propuesta para la armadura exterior.....	33
Figura 3.5 Diseño mecánico para permitir rotación continua con ejes paralelos	34
Figura 3.6 Presencia de contrapesas en el diseño mecánico de cigüeñales.....	35
Figura 3.7 Caja negra del sistema.....	35
Figura 3.8 Alternativa de solución 1	37
Figura 3.9 Alternativa de solución 2	38
Figura 3.10 Alternativa de solución 3	39
Figura 3.11 Alternativa de solución del tipo 4.....	40
Figura 3.12 Diagrama de evaluación del proyecto	43
Figura 4.1 Distribución de los espejos en el sistema Fresnel	45
Figura 4.2 Perfil del concentrador secundario.....	46
Figura 4.3 Desarrollo del CPC	47
Figura 4.4 Distribución completa del sistema LFR.....	48
Figura 4.5 Layout del método grafico de diseño óptico	50

Figura 4.6 Diagrama de vigas del soporte de espejos	54
Figura 4.7 Reacciones propias del peso de cada espejo	55
Figura 4.8 Diagrama de fuerza cortante para la viga indicada	55
Figura 4.9 Diagrama de momento flector para la viga indicada	56
Figura 4.10 Ángulos estructurales de acero al carbono para el soporte de espejos.....	57
Figura 4.11 Deformación obtenida en cada viga del soporte de espejos.....	57
Figura 4.12 Isolíneas de esfuerzo equivalente (von-Misses) para la viga longitudinal del soporte de espejos.....	58
Figura 4.13 Diagrama de vigas para el soporte de espejos y el concentrador lineal.....	59
Figura 4.14 Diagrama de vigas para el concentrador lineal rotatorio	60
Figura 4.15 Fuerzas debido al peso de los espejos y las vigas	60
Figura 4.16 Diagrama de fuerza cortante para el conjunto de vigas indicadas	61
Figura 4.17 Diagrama de momento flector para el conjunto de vigas indicadas.....	62
Figura 4.18 Perfiles seleccionados para la estructura soporte del sistema de espejos.....	62
Figura 4.19 Perfil estructural de acero al carbono de denominación Barra redonda para el soporte de espejos.....	63
Figura 4.20 Tubos estructurales de acero al carbono para el soporte de espejos	63
Figura 4.21 Deformación en cada viga de la estructura estudiada	64
Figura 4.22 Esfuerzos en cada viga de la estructura estudiada	65
Figura 4.23 Vista lateral del diagrama de vigas, incluido el soporte fijo	67
Figura 4.24 Vista lateral del diagrama de vigas, incluido el soporte fijo	68
Figura 4.25 Vista superior del diagrama de vigas, incluido el soporte fijo.....	69
Figura 4.26 Reacciones propias del peso de la estructuras internas	70
Figura 4.27 Fuerza axial en los elementos de la estructura	70
Figura 4.28 Diagrama de fuerza cortante para la estructura indicada	71

Figura 4.29 Diagrama de momento flector para la estructura indicada.....	71
Figura 4.30 Tubo LAC ASTM A500 de acero al carbono para la estructura externa.....	72
Figura 4.31 Deformación obtenida en cada viga del soporte de espejos.....	73
Figura 4.32 Esfuerzo equivalente (von-Misses) para la estructura externa.....	74
Figura 4.33 Radios de giro del concentrador Fresnel.....	75
Figura 4.34 Distancia del eje de giro hacia el centro de masa de las partes de la estructura soporte de los espejos Fresnel	76
Figura 4.35 Condiciones de frontera de la simulación estructural	77
Figura 4.36 Corte transversal del eje de torsión de la estructura de espejos	79
Figura 4.37 Diagrama del par de torsión para el eje de torsión.....	79
Figura 4.38 Diagrama del fuerza cortante para el eje de torsión.....	80
Figura 4.39 Diagrama de momento flector para el eje de torsión	80
Figura 4.40 Esfuerzos equivalentes en el eje de torsión.....	81
Figura 4.41 Deformación de la línea media del eje de torsión.....	81
Figura 4.42 Discretización del modelo con énfasis en la unión con la estructura del reflector	82
Figura 4.43 Deformación durante el análisis de fatiga (Escala 400:1).....	83
Figura 4.44 Esfuerzo equivalente durante el análisis de fatiga (Escala 770:1)	83
Figura 4.45 Factor de repetición de carga sometida en el eje.....	84
Figura 4.46 Diagrama de fatiga bajo la teoría del esfuerzo medio según Goodman para el eje de estudio	86
Figura 4.47 Análisis de fatiga por vida para el eje de torsión	87
Figura 4.48 Datos de entrada para la selección de rodamiento SKF.....	88
Figura 4.49 Rodamiento rígido de una hilera de bolas SKF INSOCOAT 6316/C3VL0241	88

Figura 4.50 Especificaciones técnicas de rodamiento rígido de una hilera de bolas SKF INSOCOAT 6316/C3VL0241	89
Figura 4.51 Datos de cálculo de rodamiento rígido de una hilera de bolas SKF INSOCOAT 6316/C3VL0241	90
Figura 4.52 Indicador del enmallado: Calidad ortogonal	94
Figura 4.53 Indicador gráfico del enmallado: Calidad ortogonal.....	95
Figura 4.54 Indicador del enmallado: Skewness	96
Figura 4.55 Indicador gráfico del enmallado: Skewness.....	97
Figura 4.56 Isolíneas de esfuerzo equivalente en la estructura Fresnel.....	98
Figura 4.57 Detalle del esfuerzo equivalente en la zona crítica de análisis	99
Figura 4.58 Esfuerzos de corte en la estructura Fresnel	100
Figura 4.59 Detalle de esfuerzo de corte en la estructura soldada	100
Figura 4.60 Deformación general de la estructura (Escala 1:1)	101
Figura 4.61 Deformación máxima en la estructura (Escala 16:1)	102
Figura 4.62 Esfuerzo equivalente en la estructura Fresnel. Giro máximo (90°)	103
Figura 4.63 Detalle del esfuerzo equivalente en la zona crítica de análisis. Giro máximo (90°).....	104
Figura 4.64 Esfuerzos equivalentes máximos en la unión de los perfiles de soporte y el eje de torsión. Giro máximo (90°).....	105
Figura 4.65 Esfuerzos de corte en la estructura Fresnel. Giro máximo (90°)	106
Figura 4.66 Detalle de esfuerzo de corte en la estructura soldada. Giro máximo (90°)...	107
Figura 4.67 Deformación general de la estructura (Escala 1:1). Giro máximo (90°)	108
Figura 4.68 Deformación máxima en la estructura (Escala 17:1). Giro máximo (90°) ...	109
Figura 4.69 Soldadura de filete en el soporte de espejos	110
Figura 4.70 Referencia de materiales a unir	113

Figura 4.71 Corte transversal de las uniones.....	114
Figura 4.72 Referencia de materiales a unir.....	115
Figura 4.73 Corte transversal de las uniones.....	115
Figura 4.74 Referencia de materiales a unir.....	117
Figura 4.75 Corte transversal de las uniones.....	118
Figura 4.76 Referencia de materiales a unir.....	119
Figura 4.77 Corte transversal de las uniones.....	120
Figura 4.78 Referencia de materiales a unir.....	123
Figura 4.79 Corte transversal de las uniones.....	124



Lista de tablas

Tabla 3.1 Matriz morfológica del diseño.....	36
Tabla 4.1 Inclinación y posición de cada espejo	49
Tabla 4.2 Régimen de operación del sistema LFR propuesto (20 – 50 °C)	52
Tabla 4.3 Régimen de operación del sistema LFR propuesto (55-85°C).....	53
Tabla 4.4 Datos técnicos del ángulo estructural L 20 x 20 x 2 mm	58
Tabla 4.5 Datos técnicos de la estructura soporte de los espejos	66
Tabla 4.6 Datos técnicos del ángulo estructural L 20 x 20 x 2 mm	74
Tabla 4.7 Reacciones (Fuerza y momento)en los apoyos de la estructura	78
Tabla 4.8 Coordenadas de la amplitud y constante de la resistencia, e intersecciones importantes en el primer cuadrante de los criterios de falla de Goodman modificado y de Langer.....	85
Tabla 4.9 Tabla de selección de rodamientos SKF (65 - 85 mm)	92
Tabla 4.10 Simplificaciones realizadas para la simulación estructural	93
Tabla 4.11 Material de aporte.....	111
Tabla 4.12 Tamaño mínimo de soldadura	112

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental y el efecto invernadero es un problema latente en nuestra sociedad, el cual viene siendo tratado con el uso de energías renovables (solar, eólica, mareomotriz, etc.). Una fuente de energía útil, y de potencial de aprovechamiento rápido es la energía solar, que tiene respaldo académico desde hace bastantes años, mediante el uso de concentradores solares y paneles fotovoltaicos. En nuestro país, el uso de concentradores solares está en una etapa de desarrollo, lo cual supone una oportunidad de aprovechamiento energético para el beneficio de la población, en especial para la ciudad de Arequipa. A través de este trabajo de investigación se pretende abordar el desarrollo estructural de un módulo de captación solar (Sistema Fresnel).

El planteamiento del problema y la descripción de la realidad problemática son abordados en el primer capítulo. El objetivo de este estudio es diseñar estructuralmente un concentrador solar tipo Fresnel rotatorio de uso doméstico e industrial, para lo cual se realizará análisis de esfuerzos y deformaciones dentro de los límites de la Ley de Hooke.

También se ha realizado una amplia investigación de artículos científicos sobre la efectividad y desarrollo de colectores solares Fresnel, conformando el llamado Estado del Arte. Respecto al marco teórico de la investigación, se desarrolló la síntesis de conceptos utilizados durante toda la fase de diseño (energía solar, colectores Fresnel, balance de energía, estado de equilibrio de esfuerzos y deformaciones, elementos finitos, etc.). Este es el contenido del capítulo segundo de la investigación presentada.

El proceso del diseño mecánico referido a la ingeniería es una secuencia de pasos sugeridos para el éxito de cualquier prototipo. Se consideran tres pilares de diseño: el planning de diseño, la generación del concepto de solución y, la evaluación y selección del concepto final. El contenido referido al diseño metodológico del concentrador lineal Fresnel se desarrolla en el capítulo tercero.

Una vez definido el concepto de solución óptimo del concentrador lineal Fresnel, se desarrolla la ingeniería del proyecto, abordada en el capítulo cuarto. Se definen las cargas de servicio y los materiales de construcción, quedando despejado el camino para la obtención de esfuerzos y deformaciones que admita el diseño teórico geométrico propuesto.

Finalmente, se concluye satisfactoriamente la propuesta de diseño estructural para el concentrador lineal Fresnel, con movimiento rotatorio respecto a la tubería de calentamiento de agua.





1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Identificación del problema

La utilización térmica de la energía solar es usualmente confinada a sistemas de calentamiento doméstico de agua que se está realizando en muchos países por medio de los concentradores solares tipo Fresnel lineal; sin embargo, en nuestro país no ha habido un desarrollo de esta tecnología a pesar de ser uno de los países con una tasa de irradiación solar muy alta durante todo el año. En el valle del Mantaro, específicamente la estación de Huayao, se alcanza una irradiación diaria media anual de 6.00 Kwh/m², muy cerca al más alto registrado en la estación la Joya en Arequipa que tiene 7.03 Kwh/m². (Camayo-Lapa & Pomachagua-Paucar, 2017)

El Ministerio de Energía y Minas promueve actualmente las inversiones en el sector energético. Esta afirmación se ve afianzada en el hecho de que cuatro centrales de energías renovables entraron en operación y se mantienen activas, produciendo un total de 58 MW de capacidad instalada. (Ministerio de Energía y Minas, 2022)

Se precisó, además, que se trata de una hidroeléctrica, dos parques eólicos y una térmica de biomasa.

Aun así, por la variedad geográfica peruana y poblaciones dispersas es complicado tener una cobertura eléctrica total, realizado notables esfuerzos en los últimos años para disminuir la brecha de electrificación. Dentro del Plan Renovable del Ministerio de Energía y Minas incluye el proyecto de electrificación con el que se pretende conseguir para el año 2021 el 100% de localidades aisladas cuenten con energía eléctrica. El Ministerio fue el primero en apostar por la energía solar para una mayor conservación del medio ambiente, por y para ello, ha instalado módulos fotovoltaicos en sus instalaciones para de esa manera obtener energía eléctrica y abastecer sus diferentes áreas. Siguiendo con los estudios se ha mencionado que los paneles tienen dificultades de funcionamiento, frente a condiciones de temperatura y de presión en área críticas, por lo que se busca una adecuada selección de equipos para disminuir fallas durante el proceso de operación. Las autoridades manifestaron que con la información de campo que se obtenga, se podrá promover un uso mayor de esta fuente renovable para la Generación de Electricidad. Una buena alternativa es el aprovechamiento de la energía solar mediante el uso de calentadores de bajo costo, que tengan aplicaciones tanto domésticas como industriales. (Quintanilla, 2020)

Un grupo de investigadores, en su tesis profesional titulada diseño y simulación de un colector solar lineal de Fresnel para la producción de vapor en base a las condiciones climáticas de la ciudad de Quito concluye que la utilización de espejos planos es acorde a la realidad de su país, obtener datos meteorológicos, recubrir de pintura selectiva de cromo negro sobre el tubo absorbedor, utilizar un aceite térmico de elevado punto de ebullición, la simulación de la radiación incidente en cada elemento en el programa de software libre Soltrace, el uso del Matlab que permitió conocer el comportamiento del fluido caloportador al interior del tubo absorbedor y optimización de la disposición con respecto al campo de los espejos se logró cumplir la producción de vapor de agua para uso industrial. (Benavides & Muñoz, 2015)

1.2. Descripción del problema

Actualmente los concentradores solares están en una etapa primaria de desarrollo en nuestro país, por lo cual existe un serio problema en el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento energético que permita a la población de la ciudad de Arequipa adquirir las mismas con estándares económicos simples.

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación técnica

Se plantea una tecnología que desde hace tiempo tiene un gran respaldo en la solución de la falta de energía térmica de alta eficiencia en la Región de Arequipa, con aplicaciones de uso doméstico e industrial en un rango característico de temperatura.

1.3.2. Justificación social

Radica principalmente en el abastecimiento de energía térmica fundamental para el desarrollo de la industria pequeña y mediana de la región de Arequipa, de tal manera que el beneficio logrado se extienda a diferentes localidades del sur del Perú.

1.3.3. Justificación económica

Permitirá el desarrollo económico de la población, el correcto diseño alcanzará precios aceptables dentro del rango del diseño estructural. La alternativa presentada tiene como base del diseño la economía del consumidor.

1.3.4. Justificación ambiental

“Al ser una tecnología de generación de energía limpia, que usa recursos renovables para generar energía térmica no causa impactos ambientales negativos, salvo los procesos de manufactura del diseño terminado” (Quintanilla, 2020).

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

- Diseñar estructuralmente un concentrador solar tipo Fresnel rotatorio de uso doméstico e industrial.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar los esfuerzos de trabajo del concentrador solar tipo Fresnel rotatorio de uso doméstico e industrial.
- Determinar las deformaciones sujetas a los esfuerzos de trabajo del concentrador solar tipo Fresnel rotatorio de uso doméstico e industrial.
- Desarrollar el sistema estructural básico de rotación del concentrador solar tipo Fresnel de acuerdo con los requisitos de diseño.
- Establecer los cálculos justificativos mecánicos para la implementación y funcionamiento de este sistema de concentrador solar tipo Fresnel.
- Elaborar los planos de ingeniería de detalle.

1.5. Hipótesis

La energía solar que es un recurso renovable, no contaminante y gratuita nos permite el calentamiento de agua, así reducimos el consumo de electricidad para el calentamiento de agua en aplicaciones domésticas e industriales de la región de Arequipa.

1.6. Limitaciones de la investigación

1.6.1. Espacio disponible

Al observar el lugar nos damos cuenta de que existen varios espacios en los cuales se puede desarrollar sin obstáculos el funcionamiento de un centro de generación de energía térmica. Por tanto, las posibilidades de limitación del proyecto en cuanto a espacios son muy pocas. (Quintanilla, 2020)

1.6.2. Inversión

“La limitante en cuanto a la inversión se dará de acuerdo con la evaluación del presente informe, además de la viabilidad entre otros aspectos de este” (Quintanilla, 2020).

1.6.3. Producción energética

Dado el caso de ser un sistema aislado la limitante de producción se reduce al tamaño del sistema a desarrollar de acuerdo con el recurso solar que será analizado. El diseño del sistema de generación térmica para el lugar comprende: Datos energéticos (potencia, irradiancia, etc.) Consideración de producción para el peor de los casos (invierno) Tipos de tecnología (equipos energéticos y de almacenamiento). (Quintanilla, 2020)



2. MARCO TEORICO

2.1. Energía solar: Aspecto del diseño fluido-termodinámico

2.1.1. Introducción

Hoy en día, los combustibles fósiles se han utilizado principalmente para calentar y alimentar hogares y alimentar automóviles. Es conveniente utilizar carbón, petróleo y gas natural para satisfacer las necesidades energéticas de los seres humanos, pero el suministro limitado de estos combustibles se ha convertido en la principal limitación para que las personas persistan como fuentes continuas en la Tierra. En los últimos años, el gran avance de la economía de Malasia se ha traducido en un vívido aumento del consumo de energía, en particular la energía eléctrica utilizada en la construcción comercial y doméstica. (Duffie & Beckman, 2020)

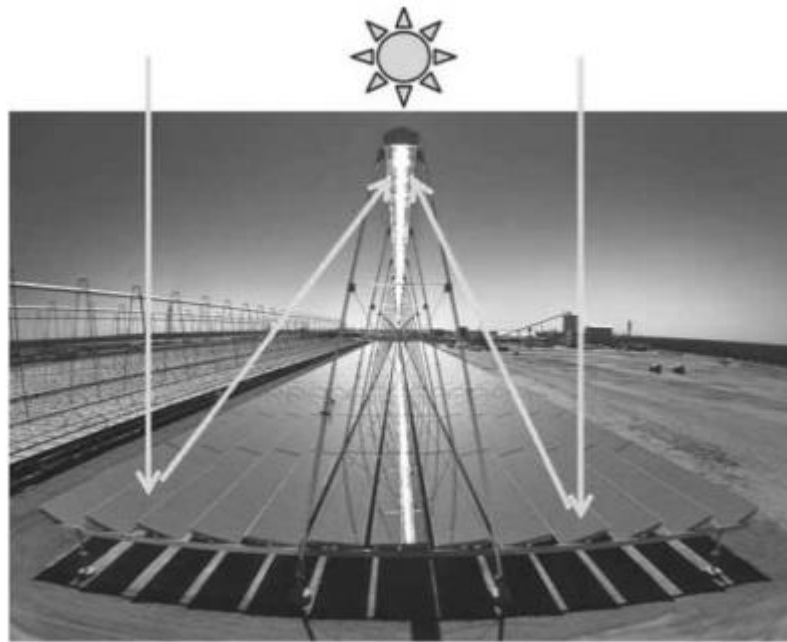
Dado que la energía juega un papel crucial en las necesidades diarias de los seres humanos, existen muchas fuentes de energía alternativas que se pueden utilizar en lugar de los combustibles fósiles, y una de ellas es la energía renovable (ER). Las ER se pueden describir como energía que puede ser generada por fuentes naturales como la luz solar; que es una fuente primaria de energía.

Las principales ventajas de la energía renovable son que no se requiere necesariamente combustible, lo que erradica la emisión de dióxido de carbono (CO₂); uno de los factores de la contaminación del aire. El suministro insuficiente de combustibles fósiles y las emisiones desproporcionadas de gases resultantes del aumento del consumo de combustibles fósiles se han convertido en la peor contribución al problema energético mundial actual. Se contó que el consumo actual de petróleo era 105 veces más rápido que la cantidad que la naturaleza puede generar. Como era de esperar, a esta enorme tasa de consumo, las reservas mundiales de combustibles fósiles disminuirán para 2050 y la demanda mundial de energía llegará a ser de aproximadamente 30 y 46 TW para 2050 y 2100, respectivamente. A pesar de que los combustibles fósiles suministran más del 90% de la demanda de energía, de hecho, transmiten una cifra vertical en el costo ambiental. (Bellos & Evangelos, 2019)

El sistema colector basado en LFR utiliza una serie de tiras reflectoras lineales que concentran la radiación solar directa incidente en un receptor fijo montado en una torre.

Figura 2.1

Concepto gráfico del funcionamiento de aprovechamiento de energía solar mediante el uso de lentes Fresnel



Fuente: Qazi, (2017).

La generación de energía solar con reflector lineal de Fresnel (LFR) es un sistema que concentra la radiación del haz solar en un tubo receptor montado en el punto focal del espejo de Fresnel a través del espejo LFR que sigue el movimiento del sol y genera un medio de trabajo de temperatura en el fluido interno para la generación de energía de ciclo térmico. Los componentes principales de la generación de energía LFR incluyen el espejo reflectante de revestimiento, el tubo receptor y el sistema de transmisión. El sistema de generación de energía LFR consta de un cilindro parabólico simplificado sistema de generación de energía. El concentrador cilindro-parabólico se reemplaza por un espejo de superficie; el espejo presenta una pequeña distancia al suelo, poca carga de viento, una estructura simple, un diseño intensivo y una mayor eficiencia en el uso de la tierra; además, no es necesario el tratamiento de vacío para el tubo receptor, lo que reduce las dificultades técnicas y los costes. El costo

total del sistema es comparativamente bajo. Sin embargo, debido al bajo índice de concentración del sistema, la temperatura operativa permanece baja, lo que también resulta en una baja eficiencia del sistema. (Qazi, 2017)

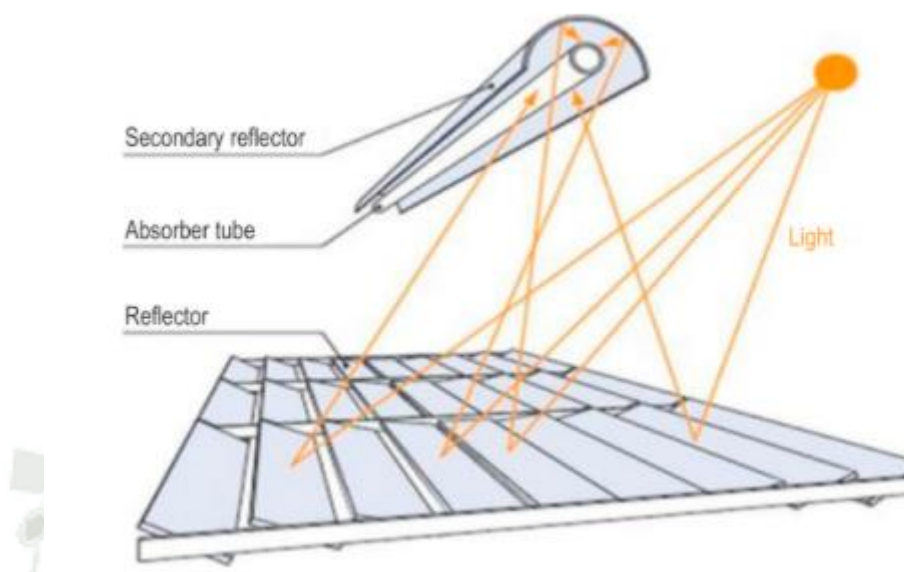
2.1.2. Sistema de reflector de Fresnel lineal

La tecnología de los actuales reflectores de Fresnel recibió su nombre de la lente de Fresnel que tiene múltiples planos de refracción diseñados para mejorar la concentración de la luz proveniente de muchos ángulos diferentes en un solo punto o línea. Esta lente fue desarrollada por Augustin-Jean Fresnel en el siglo XVIII y permite una reducción sustancial del grosor, volumen y peso de la lente, pero también reduce la calidad de la imagen. Giovanni Francia de Italia lo aplicó por primera vez en 1960 para el desarrollo de un sistema de generación de vapor Fresnel lineal y de seguimiento de dos ejes.

El diseño de un reflector de Fresnel lineal se basa en un principio entre la torre de energía y los sistemas concentradores de cilindro parabólico. Es similar al sistema de canal parabólico, pero contiene un tubo receptor fijo mientras los espejos asemejan la forma parabólica. La forma del canal se divide en múltiples facetas de espejo. Este sistema basado en espejos utiliza el mismo principio que utiliza una lente de Fresnel para espejos planos que siguen al sol para reflejar la luz en un tubo. En algunos sistemas se utiliza un espejo secundario adicional detrás del plano focal que dirige la luz solar hacia el tubo absorbente. El sistema de reflector de Fresnel lineal que se muestra en la Figura siguiente utiliza largas filas de espejos planos o ligeramente curvados para reflejar la luz solar sobre un colector lineal elevado orientado hacia abajo que contiene dos tubos absorbentes de acero inoxidable. (Qazi, 2017)

Figura 2.2

Esquema de funcionamiento con los componentes básicos del concentrador Fresnel



Fuente: Qazi, (2017)

2.1.3. Sistemas de captación de energía solar mediante el uso de reflectores lineales Fresnel: Estado del arte

Actualmente el desarrollo de sistemas lineales Fresnel, LFR, por sus siglas en Inglés presentan un desarrollo notable por el número de publicaciones en revistas científicas de Ingeniería (WoS, Scopus). A continuación, se describe brevemente algunas fuentes usadas para el desarrollo de la presente investigación:

Autor (es)	Título	Resumen
Evangelos Bellos	<i>Progress in the design and the applications of linear Fresnel reflectors – A critical review</i>	El objetivo de la investigación presentada fue resumir los diseños existentes de LFR y algunas de las ideas más novedosas para mejorar la eficiencia de captación. Su trabajo apunta a la modelación matemática del comportamiento óptico y térmico. Resalta dos características importantes: Un estudio comparativo de tecnologías ópticas: Fresnel versus espejos parabólicos.

Optimización del reflector secundario. (Bellos E. , 2019)

M. A. Moghimi; K. J. Craig; J. P. Meyer
A novel computational approach to combine the optical and thermal modelling of Linear Fresnel Collectors using the finite volume method

El trabajo presentado se basa en la simulación de trazo a través del uso de Elementos Finitos, con ayuda del software Ansys Inc. CFD Fluent. Esta simulación se realizó con el objetivo de medir la eficiencia óptica del receptor de energía solar concentrada (CSP), para el caso de línea de recepción, así como el modelo matemático para obtener la eficiencia térmica. (Moghimi et al., 2015)

Guangdong Zhu; Tim Wendelin; Michael J. Wagner; Chuck Kutscher
History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors

Se presenta las aplicaciones desarrolladas en rangos de temperatura aceptables para generar calor constante en colectores lineales de Fresnel y se presentan algunas propuestas de desarrollo para la generación de electricidad con el uso de ciclos de vapor. Un aspecto importante es el desarrollo de los desafíos técnicos presentes para superarse a futuro en las tecnologías lineales de colectores Fresnel. (Zhu et al., 2014)

H. Ajdad; Y. Filali Baba; A. Al Mers; O. Merroun; A. Bouatem; N. Boutammachte; S. El Alj; S. Benyakhlef
Thermal and Optical Efficiency Analysis of the Linear Fresnel Concentrator Compound Parabolic Collector Receiver

Se presenta un modelo de receptor el cual satisface de buena manera la demanda de calor en rangos aceptables de temperatura. Se obtuvo una eficiencia anual del sistema en conjunto del 45%. Se obtuvo temperaturas máximas de operación de 250 °C. (Ajjad, et al, 2018)

M.Collares-Pereira;
D.Canavarró;
J.Chaves

3 - Improved design for linear Fresnel reflector systems

El objetivo de la investigación fue aumentar el factor de concentración y la rentabilidad de los sistemas LFR mediante el uso de conceptos de lentes Fresnel NO-IMAGE. También se presenta algunos conceptos importantes de radiación con énfasis a la concentración solar. (Collares-Pereira et al., 2017)

M.Cagnolia;
D.Mazzei;
M.Procopio;
V.Russo;
L.Savoldi;
R.Zanino

Analysis of the performance of linear Fresnel collectors: Encapsulated vs. evacuated tubes

En este trabajo se realiza un estudio detallado destinado a la evaluación de las pérdidas de calor del receptor de una planta piloto real de 1 MW basada en el colector Fresnel y el uso de refrigerantes con aceite térmico. La unidad receptora, que consta de un tubo absorbente y un concentrador parabólico compuesto (CPC), se investiga numéricamente para determinar el rendimiento del receptor en diferentes direcciones del viento. (Cagnoli et al., 2018)

Farong Huang;
Long long Li;
Weidong
Huang

Optical performance of an azimuth tracking linear Fresnel solar concentrator

En este artículo se estudia un concentrador solar Fresnel lineal instalado con un seguidor solar azimutal. Con base en la integración de la distribución de fuente efectiva para un punto de reflexión y toda el área del reflector, se ha logrado desarrollar un modelo analítico para calcular el factor de intercepción del concentrador y analizar su desempeño durante un año. (Huang et al., 2014)

María J.;
Montesa Carlo
Rubbi; Rubén
Abbas; José M.
Martínez-Val

A comparative analysis of configurations of linear Fresnel

“El artículo aborda el problema de caracterizar la configuración del campo espejo asumiendo datos horarios de un año típico. Para un estudio

collectors for comparativo adecuado, es necesario definir un
concentrating solar criterio de comparación” (Montes et al., 2014).
power

Ighball *The application of* Se llevó a cabo una comparación entre los
Baniasad; *Linear Fresnel and* colectores CPC (Concentrador parabólico
Askari Mehran *Parabolic Trough* compuesto) y LFR (Fresnel lineal) para determinar
Ameri *solar fields as thermal* el campo solar y el área de terreno requeridos para
source to produce producir las tarifas específicas de electricidad y
electricity and fresh agua dulce. Finalmente, se realizó un análisis de
water sensibilidad para determinar la importancia de
cada parámetro en la unidad final de costos de
electricidad y agua para las plantas de ciclo
combinado del tipo Rankine. (Askari & Ameri,
2017)

Daniele Cocco; *Energy and economic* Este artículo compara el rendimiento de plantas de
Giorgio Cau *analysis of* concentración de energía solar (CSP) de 1 MW
concentrating solar basadas en una unidad de generación de energía de
power plants based on ciclo Rankine orgánica e integrada con colectores
parabolic trough and cilindro parabólicos y lineales de Fresnel. Los
linear Fresnel resultados de la evaluación del rendimiento
collectors demuestran que las plantas de CSP basadas en
colectores Fresnel lineales conducen a valores más
altos de producción de energía eléctrica por unidad
de área de terreno ocupado (alrededor de 50–
60 kWh/año por m² frente a 45–55 kWh/año m²
producido por soluciones basadas en colectores
cilindro parabólicos). (Cocco & Cau, 2015)

Gabriel Morina; *Comparison of Linear* Este estudio evalúa las suposiciones sobre el
Jürgen Dersch; *Fresnel and Parabolic* rendimiento del colector y los costos de operación
Werner Platzter; y mantenimiento para el uso eficiente de diferentes

Markus Eck; Andreas Häberl: *Trough Collector power plants* diseños de tecnologías LFR. Dependiendo de los supuestos, los costes de un campo solar de colector Fresnel lineal deberían oscilar entre 78 y 216 €/m² para alcanzar la paridad de costes en los costes de campo solar de referencia supuestos de 275 €/m² para el tipo Reflector parabólico. (Morin et al., 2012)

Evangelos Bellos; Christos Tzivanidis: *Development of analytical expressions for the incident angle modifiers of a linear Fresnel reflector* El objetivo es crear una fórmula simple y precisa para todos los rangos de ángulos solares posibles durante la operación de concentradores lineales Fresnel. Las ecuaciones desarrolladas se basan en suposiciones razonables y en el análisis geométrico de un colector simple con espejos primarios planos. (Bellos & Tzivanidis, 2018)

Hani Beltagy; Djaffar Semmara; Christophe Lehaut; Noureddine Said: *Theoretical and experimental performance analysis of a Fresnel type solar concentrator* En este trabajo se ha desarrollado un estudio teórico y experimental de un prototipo utilizando conceptos básicos del concentrador tipo Fresnel. El modelo teórico utilizado permite determinar varios parámetros esenciales del diseño de la instalación que se comparan fácilmente con los datos medidos. Para un prototipo térmico instalado de 250 kW se midió una eficiencia térmica diaria superior al 40%. (Beltagy et al., 2017)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.3
Campo solar Fresnel lineal



Fuente: Gallego y otros, (2020).

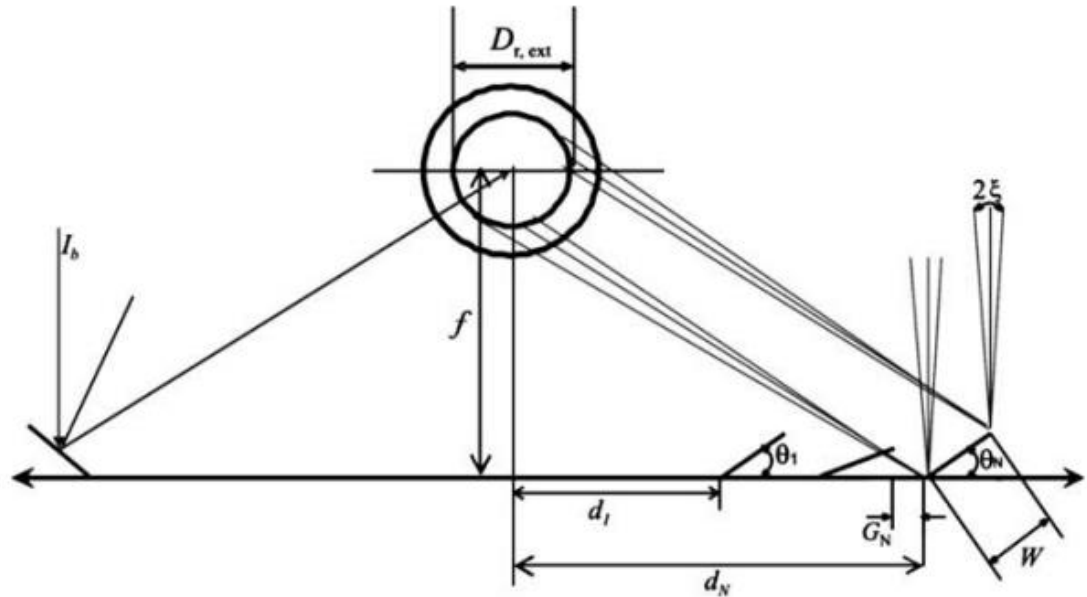
2.1.4. Formulación matemática

El modelo numérico se divide en cuatro módulos: (1) flujo de fluido dentro del tubo receptor, (2) transferencia de calor en la pared del tubo receptor, (3) transferencia de calor en la pared del tubo de cubierta y (4) análisis térmico solar. (Flores, 2019)

2.1.4.1. Análisis y diseño óptico

Un LFRC con forma de receptor tubular se puede diseñar de dos formas: (1) calculando el diámetro del tubo receptor o (2) fijándolo. El estudio realizado por varios autores asume un diámetro de receptor conocido. Se han hecho las siguientes suposiciones: (i) El LFRC tiene un sistema de seguimiento para seguir el sol. (ii) Los espejos se reflejan de forma especular. (iii) Normalmente, la radiación incide sobre el arreglo. (Flores, 2019)

Figura 2.4
Dimensiones características de un sistema LFR



Fuente: Velázquez y otros, (2010).

Ecuaciones	Desarrollo
Ecuaciones para la posición y el ángulo del 1 espejo.	$d_1 = \frac{W}{2} + f \tan(\xi)$ $\theta_1 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{d_1 + \frac{W}{2} \cos(\theta_1)}{f - \frac{W}{2} \sin(\theta_1)} \right)$
Ecuaciones para la posición y el ángulo del 2 al N espejo.	$G_N = W \sin(\theta_{N-1}) \tan(2\theta_N + \xi)$ $d_N = d_{N-1} + W \cos(\theta_{N-1}) + G_N$ $\theta_N = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{d_N + \frac{W}{2} \cos(\theta_N)}{f - \frac{W}{2} \sin(\theta_N)} \right)$
El radio de concentración.	$C = \frac{\sum_{i=1}^N W \cos(\theta_N)}{\pi D_{r, ext}}$

Fuente: Elaboración propia

Nomenclatura de las ecuaciones anteriores:

- d: posición del espejo (m)
- ξ : ángulo subtensivo solar (rad) ($n = 32^\circ$; consideración de diseño)
- G: distance between consecutive mirrors (m)
- W: ancho de espejo (m)
- C: radio de concentración (adimensional, aproximadamente 0.6)
- D: diámetro (m)
- f: distancia focal (m)
- θ : inclination angle of the mirror (rad)

2.1.4.2. Flujo del Fluido dentro del tubo receptor

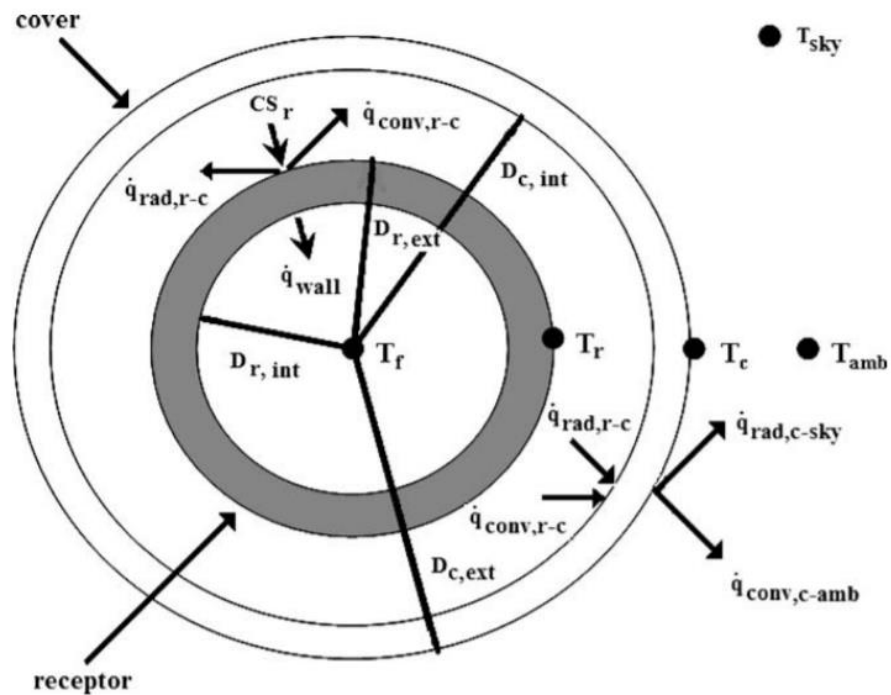
Usando como referencia la geometría del tubo receptor, es posible aplicar las ecuaciones de continuidad, energía y transferencia de momento de las partículas dentro del flujo:

Ecuaciones	Desarrollo
Continuidad	$[\dot{m}_g + \dot{m}_l]_i^{i+1} + \frac{\partial(m_g + m_l)}{\partial t} = 0$
Momento	$[\dot{m}_g v_g + \dot{m}_l v_l]_i^{i+1} + \Delta z \frac{\partial(\tilde{m}_g + \tilde{m}_l)}{\partial t} = -[p]_i^{i+1} A_t - \tilde{\tau}_w P \Delta z - mg \sin \beta$
Energía	$[\dot{m}_g e_g + \dot{m}_l e_l]_i^{i+1} + \frac{\partial(\tilde{m}_g e_g + \tilde{m}_l e_l)}{\partial t} - A_t \Delta z \frac{\partial \tilde{p}}{\partial t} = \dot{q}_{wall} P \Delta z$

Fuente: Elaboración propia

Estas ecuaciones se aplican para flujos y geometrías similares a las que se muestran en la figura adjunta

Figura 2.5
Características del sistema receptor-cubierta.



Fuente: Velázquez y otros, (2010).

Nomenclatura de las ecuaciones anteriores:

- m : flujo másico (kg/s)
- t : Tiempo (s)
- T : temperatura (K)
- v : velocidad (m/s)
- z : coordenada axial
- P : perímetro (m)
- A_a : área de apertura del reflector (m²)
- A_r : área de transferencia de calor del tubo receptor (m²)
- A_t : área de la sección transversal del flujo de fluido (m²)
- $A_{t,c}$: área de la sección transversal del tubo de cubierta (m²)
- $A_{t,r}$: área de la sección transversal del tubo receptor (m²)

- e: energía específica ($H + v^2 / 2 + gz$) (J/kg)
- q wall: flujo de calor de la pared al fluido por unidad de superficie receptora (W/m²)

2.1.4.3. Análisis térmico solar

La energía útil ganada por unidad de área ha sido expresada en términos de la temperatura y la radiación incidente absorbida por el tubo receptor:

Ecuaciones	Desarrollo
Energía ganada	$\dot{q}_u = CS_r - (h_{conv,r-c} + h_{rad,r-c})(T_r - T_c)$
Coeficiente de transferencia de calor por radiación	$h_{rad,r-c} = \frac{\sigma(T_r^2 + T_c^2)(T_r + T_c)}{\frac{1-\epsilon_r}{\epsilon_r} + \frac{1}{F_{rc}} + \frac{(1-\epsilon_c)D_{r,ext}}{\epsilon_c D_{c,int}}}$
Coeficiente de transferencia de calor por convección natural	$h_{conv,r-c} = \frac{2k_{eff}}{D_{r,ext} \ln(D_{c,int}/D_{r,ext})}$
Conductividad térmica efectiva	$\frac{k_{eff}}{k_{air}} = 0.317(Ra^*)^{1/4}$
Número de Rayleigh	$(Ra^*)^{1/4} = \left[\frac{\ln(D_{c,int}/D_{r,ext})}{b^{3/4} \left(\frac{1}{D_{r,ext}^{3/5}} + \frac{1}{D_{c,int}^{3/5}} \right)^{5/4}} \right] Ra^{1/4}$

Fuente: Elaboración propia

2.1.4.4. Pared del tubo receptor

Estas ecuaciones han sido desarrolladas considerando el estado de flujo transitorio en una dimensión:

Ecuaciones	Desarrollo
Ecuación de conducción de calor	$(\tilde{q}_{wall}\pi D_{r,int} - \tilde{q}_u\pi D_{r,ext})\Delta z + (\tilde{q}_w - \tilde{q}_e)A_{t,r} = m \frac{\partial \tilde{H}}{\partial t}$ $\tilde{q}_e = -k_e \left(\frac{\partial T_r}{\partial z} \right)_e ; \quad \tilde{q}_w = -k_w \left(\frac{\partial T_r}{\partial z} \right)_w$

Fuente: Elaboración propia

Nomenclatura de las ecuaciones anteriores:

- Cp: Calor específico a presión constante (J/(kg K))
- Fr: número de Froude (adimensional)
- h: Coeficiente de transferencia de calor (W/(m² K))
- H: Entalpia (J/kg)
- I: Irradiancia normal (W/m²)
- k: conductividad térmica (W/(m K))
- keff: conductividad térmica efectiva (W/(m K))
- m: masa (kg)
- p: presión (bar)
- Pr: número de Prandtl (adimensional)
- Ra: número de Rayleigh (adimensional)
- Re: número de Reynolds (adimensional)
- S : Energía solar absorbida por unidad de área(W/m²)
- We: número de Weber (adimensional)
- ε: emisividad (adimensional)

2.2. Teoría sobre simulación por elementos finitos

2.2.1. Sobre Ansys

Ansys es un software de implementación de elementos finitos en la solución de muchos tipos de problemas, incluyendo, pero no limitado a las categorías: Estructural, mecánico, fluidos, electromagnéticos, etc.

2.2.2. Mecánica estructural

El análisis de ingeniería (por ejemplo, estructural, mecánico, de flujo, electromagnético) es encontrar las respuestas de un dominio de problema sujeto a condiciones ambientales. En los análisis estructurales, el dominio del problema consta de cuerpos sólidos; las condiciones ambientales incluyen cargas y apoyos; las respuestas pueden ser descritas por los desplazamientos, tensiones o deformaciones. Las condiciones ambientales no se pueden aplicar en las superficies límite. Las condiciones ambientales comunes que no se aplican en las superficies límite incluyen cambios de temperatura y fuerzas de inercia; estas cargas se distribuyen sobre los volúmenes (en lugar de las caras límite) del dominio del problema. (Alois y otros, 2009)

2.2.3. Desplazamiento

La deformación de un cuerpo se puede describir mediante un campo de desplazamiento $\{u\}$. Tenga en cuenta que $\{u\}$ es una función de posiciones y, dado que es un vector, podemos expresar el desplazamiento con tres componentes.

$$\{u\} = \left\{ \begin{matrix} u_x & u_y & u_z \end{matrix} \right\}$$

2.2.4. Esfuerzo

El esfuerzo en cierto punto se puede definir como la fuerza por unidad de área que actúa sobre las caras límite de un cuerpo infinitesimalmente pequeño centrado en ese punto. El cuerpo pequeño puede tener cualquier forma. En general, los valores de tensión pueden ser diferentes en diferentes caras y las direcciones de tensión no son necesariamente normales a las superficies. Y el cuerpo pequeño puede tener cualquier forma.

Para describir la tensión de forma sistemática, solemos utilizar un cubo infinitesimalmente pequeño en el que cada arista es paralela a un eje de coordenadas. Si podemos encontrar las tensiones en las caras de un cubo pequeño, entonces podemos calcular las tensiones en cualquier cara de un cuerpo pequeño de cualquier forma.

2.2.5. Ecuaciones de Gobierno

En análisis estructural, podemos usar las siguientes cantidades (todas o parte de ellas) para describir la respuesta de una estructura sujeta a condiciones ambientales:

$$\{u\} = \left\{ \begin{matrix} u_x & u_y & u_z \end{matrix} \right\}$$

$$\{\sigma\} = \left\{ \begin{matrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \tau_{xy} & \tau_{yz} & \tau_{zx} \end{matrix} \right\}$$

$$\{\varepsilon\} = \left\{ \begin{matrix} \varepsilon_x & \varepsilon_y & \varepsilon_z & \gamma_{xy} & \gamma_{yz} & \gamma_{zx} \end{matrix} \right\}$$

Donde, σ son los componentes de esfuerzo, ε son los componentes de tensión y u son los componentes proporcionales de desplazamiento propios del material analizado. Los componentes de tensión deben satisfacer el principio de equilibrio de fuerzas:

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum F_z = 0$$

Si aplicamos las ecuaciones anteriores. en un punto DENTRO del cuerpo estructural, podemos obtener tres ecuaciones de equilibrio que involucran los componentes de tensión:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial X} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial Y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial Z} + b_x = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial Y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial Z} + b_y = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial X} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial Z} + b_z = 0$$

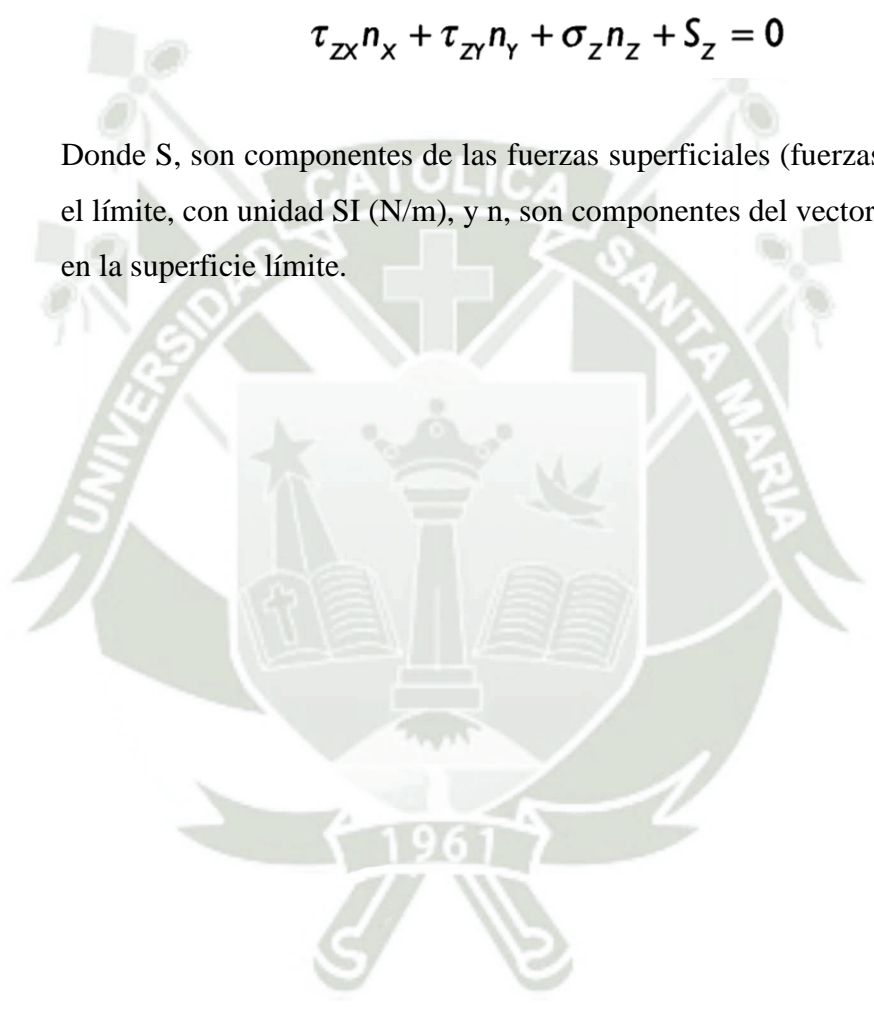
Donde b_x , b_y , b_z son componentes de las fuerzas del cuerpo que son las fuerzas distribuidas en el cuerpo, con unidad S.I. (N/m). Si aplicamos las ecuaciones anteriores en un punto “n” la superficie límite del cuerpo estructural, las tres ecuaciones de equilibrio tendrán la forma:

$$\sigma_x n_x + \tau_{xy} n_y + \tau_{xz} n_z + S_x = 0$$

$$\tau_{yx} n_x + \sigma_y n_y + \tau_{yz} n_z + S_y = 0$$

$$\tau_{zx} n_x + \tau_{zy} n_y + \sigma_z n_z + S_z = 0$$

Donde S , son componentes de las fuerzas superficiales (fuerzas distribuidas en el límite, con unidad SI (N/m), y n , son componentes del vector unitario normal en la superficie límite.





3. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

3.1. Introducción

Para evaluar las fortalezas y la importancia de un sistema o solución, se requiere un enfoque metódico, que sea adecuado para evaluar los criterios de evaluación con diferentes propiedades estandarizadas. Por esa razón, existen varios métodos de evaluación.

Pahl y Beitz describen un esquema de evaluación que incluye una escala de valores según VDI 2225 y la ponderación de valores, lo cual es común en un análisis de beneficios. Se recomienda que la evaluación contenga valores cualitativos y cuantitativos para los criterios de evaluación. (Pahl y otros, 2007)

En cuanto a la tesis, se evitan los criterios cuantitativos, ya que una clasificación estricta es demasiado extensa, debido a la dependencia de muchos factores. El descuido de estos criterios cuantitativos apenas influye en los resultados de la evaluación.

3.2. Método de evaluación: VDI 2225

El proceso de diseño adoptado para la selección de las alternativas de diseño es el proporcionado en la directriz VDI 2225. La elección de esta directriz esta basada en la multiplicidad de las alternativas existentes para la selección de los espejos de reflexión, así como para las alternativas de rotación planteadas. De acuerdo con la literatura, la metodología de diseño escogida establece el diseño en 4 pasos de partida:

- a) Identificación del criterio de evaluación
- b) Ponderación del criterio de evaluación
- c) Asignación de puntuación y tratamiento de resultados
- d) Comparación y elección de solución

3.2.1. Ventajas

- **Escala de valores según VDI 2225:** dado que es difícil comparar los criterios de evaluación entre sí y finalmente obtener un resultado útil de la evaluación, es necesaria la estandarización. Con la introducción de la escala según la evaluación técnica y económica VDI 2225, se puede lograr una evaluación consistente, ya que las propiedades solo se conocen de manera inadecuada.
- **Ponderación de valores:** Por medio de una ponderación, se puede considerar la relevancia de los criterios de evaluación y finalmente se puede obtener un resultado más preciso.

3.2.2. Desventajas:

- Dependiendo de la cantidad de criterios de evaluación, la evaluación requiere un esfuerzo relativamente alto debido a la ponderación de los valores.
- La ponderación de los valores es obligatoria.
- El uso consistente de valores cualitativos para cada criterio de evaluación puede influir en los resultados a través de la subjetividad del evaluador.

3.2.3. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		Pág. 1 de 1
		Edición: Rev. 1
PROYECTO	Diseño estructural de un concentrador solar tipo Fresnel rotatorio de uso doméstico e industrial	Fecha: Enero/2022 Revisado: E.A.V.A.
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		Elaborado: E.A.V.A.
Deseo / Exigencia	Descripción	Responsable
E (a)	Función principal: a) Proporcionar un equipo mecánico capaz de transformar la energía solar en energía térmica. Dicho equipo debe ser calculado para cumplir con requisitos térmicos y económicos.	E.A.V.A.
E (b, d) D (a, c)	Geometría: a) Dimensiones estimadas: 2000 x 3000 x 1500 mm (ancho x largo x alto). b) Estructura base del recibidor principal rotatoria respecto al eje paralelo al largo. c) Una estructura fija y una estructura rotativa. d) Uso de un contrapeso.	E.A.V.A.
E (a)	Cinemática: a) Mecanismo que permita la rotación de la estructura base de los espejos.	E.A.V.A.
E (a, b, c)	Energía a) Fuente de alimentación: Eléctrica para el accionamiento del motor principal. b) Fuente de energía: Uso doméstico (220 V, 60 Hz). c) Capaz de transformar la energía solar en energía térmica.	E.A.V.A.

E (a)	Control de calidad:	E.A.V.A.
D (b)	<ul style="list-style-type: none"> a) La deformación de los materiales afecta en el mínimo aspecto posible al funcionamiento teórico del concentrador. b) Se debe medir las temperaturas inicial y final del fluido de trabajo. 	
D (a)	Montaje:	E.A.V.A.
	<ul style="list-style-type: none"> a) El montaje no debe afectar el rendimiento del concentrador solar. 	
E (c)	Fabricación:	E.A.V.A.
D (a, b, d)	<ul style="list-style-type: none"> a) La fabricación debe ser lo más fácil posible, sin embargo, se permite la construcción de un receptor curvo secundario. b) Debe utilizarse materiales disponibles en la industria metalmeccánica. c) Selección de materiales capaz de soportar variaciones de temperatura de 10 a 175 °C. d) El diseño de los elementos que lo compongan debe ser justificado 	
D (a)	Transporte:	E.A.V.A.
	<ul style="list-style-type: none"> a) El equipo completo debe ser desmontable 	
E (a)	Costos:	E.A.V.A.
D (b)	<ul style="list-style-type: none"> a) Inversión menor a S/10 000.00 (Proyecto y patente) b) Los costos de mantenimiento deberían ser mínimos. 	
D (a)	Mantenimiento:	E.A.V.A.
	<ul style="list-style-type: none"> a) Debe priorizarse el uso de motores eléctricos sustituibles. 	

Fuente: Elaboración propia.

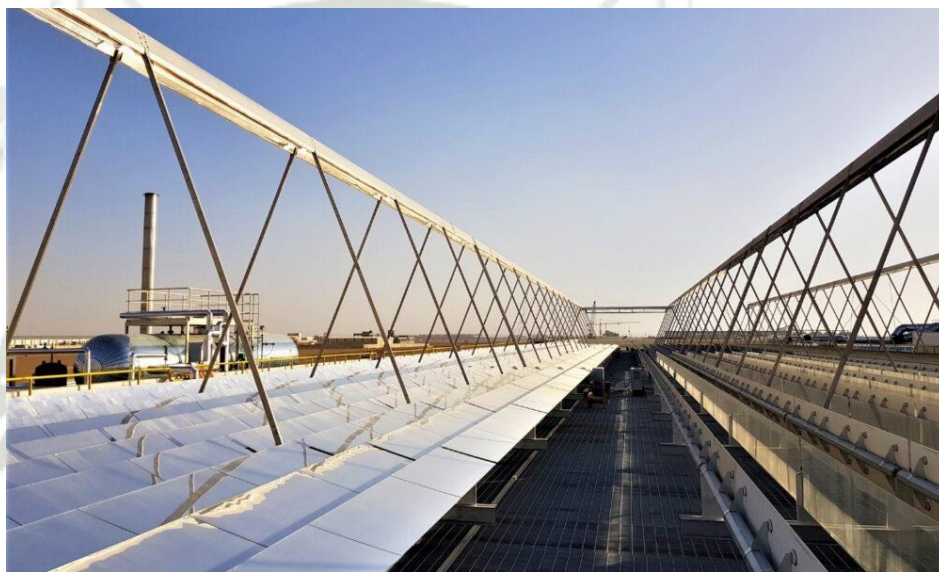
3.3. Lista de funciones

3.3.1. Estructura principal

3.3.1.1. Espejos

Tiene como función principal la reflexión del haz de luz captado por todo el conjunto y direccionarlo hacia un segundo receptor y el tubo del fluido. La geometría y disposición de cada espejo es independiente entre sí.

Figura 3.1
Espejos en colectores Fresnel

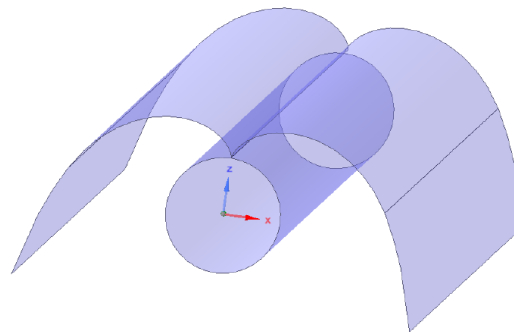


Fuente: Vera, (2022).

3.3.1.2. Receptor

Se encarga de transferir calor hacia el fluido de trabajo. Específicamente se trata de la red de tubería en la armadura en general. Su principio de trabajo es el mismo que el de un intercambiador de calor, conducción dentro de la tubería y radiación-convección en la superficie exterior.

Figura 3.2
Conjunto de receptor secundario

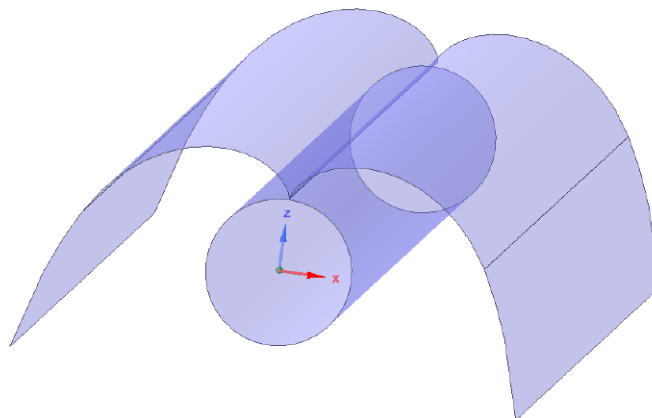


Fuente: Rosas Chicata, (2021).

3.3.1.3. Concentrador parabólico compuesto

Tiene como función principal captar la totalidad de rayos solares y direccionarlos hacia el receptor. Esto se logra por medio de una superficie previamente desarrollada.

Figura 3.3
Concentrador parabólico compuesto (CPC)



Fuente: Rosas Chicata, (2021).

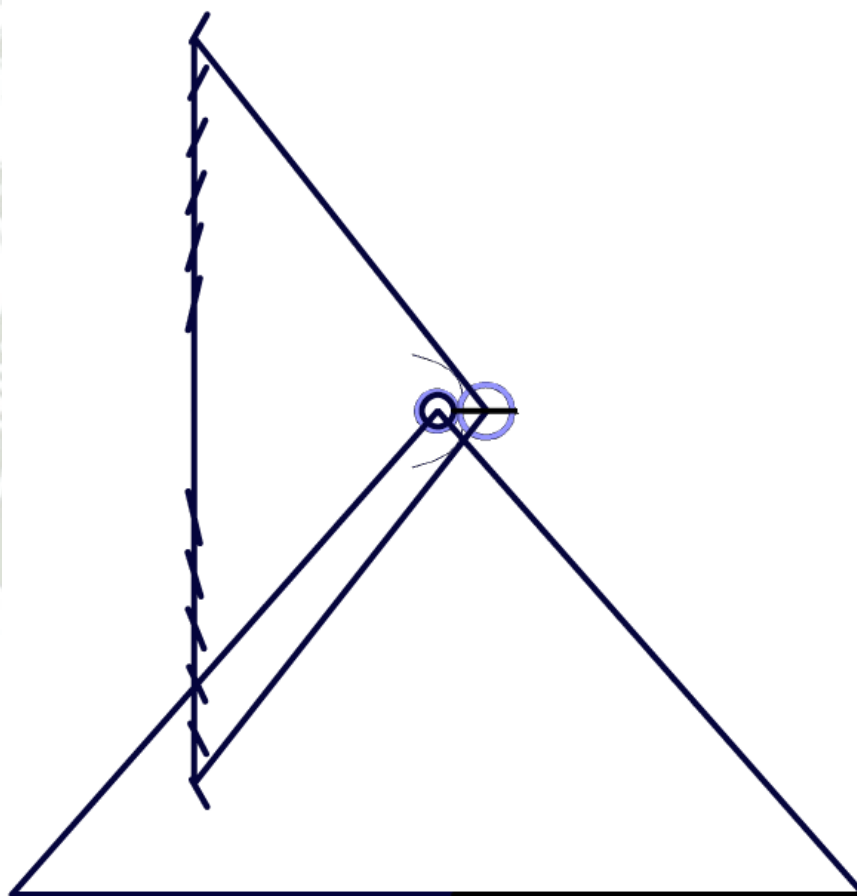
3.3.2. Armadura exterior

Esta estructura cumple dos funciones principales:

- Ser el soporte de los espejos a utilizar
- Proporcionar estabilidad al movimiento durante la rotación de los espejos.

Figura 3.4

Propuesta para la armadura exterior



Fuente: Rosas Chicata, (2021).

3.3.3. Sistema de rotación

El Sistema de rotación debe permitir la rotación segura con tolerancias establecidas. Las alternativas presentes se discutirán en el desarrollo del diseño.

Figura 3.5

Diseño mecánico para permitir rotación continua con ejes paralelos



Fuente: Gutiérrez, (2022).

3.3.4. Sistema de contrapesas

El Sistema de contrapesas se ha propuesto para reducir el esfuerzo causado por la acción de girar los espejos, presente incluso con cualquier alternativa para la conexión de un motor eléctrico con el eje de torsión.

Figura 3.6

Presencia de contrapesas en el diseño mecánico de cigüeñales

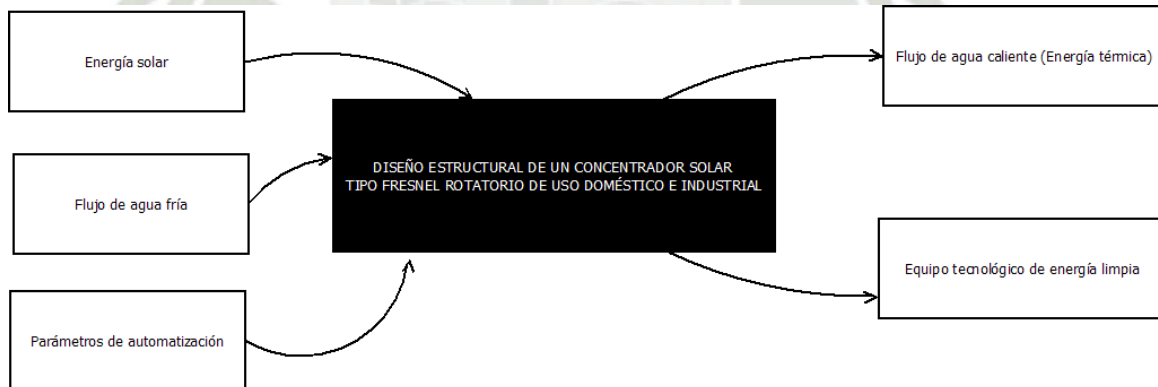


Fuente: Blazquez, (2022).

3.4. Esquema de la caja negra del sistema

Figura 3.7

Caja negra del sistema



Fuente: Blazquez, (2022).

3.5. Matriz morfológica del diseño

Se elaboró la siguiente matriz de presentación de alternativas a cada problemática inherente del diseño.

Tabla 3.1
Matriz morfológica del diseño

Función parcial	Solución general	Alternativas (1 o 2 en cada caso de la solución general)	
Reflejar los primeros rayos solares	A. ESPEJOS	Planos	Curvos
Concentrar los rayos solares	B. CPC	Curvo	Plano
Transferir energía	C. TUBERÍA	Tubo de cobre	Tubo de acero inox
Rotación del conjunto	D. MECANISMO DE ROTACIÓN	Rodamiento adecuado a la tubería de agua.	Rotar toda la estructura, incluido el tubo
Estabilizar la rotación	E. CONTRAPESAS	Contrapesa modelo cigüeñal	Contrapesa tubo macizo
Soporte de la estructura	F. ARMADURA EXTERIOR	Tipo triangular	Tipo triangular del tipo 2

Sujeción y seguro	G. MECANISMO	Seguro de llantas	Seguro con unión
	DE BLOQUEO		roscada

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Evaluación del concepto de solución

Dada la anterior tabla, se ha elegido una serie de propuestas basada en cada función parcial de diseño. Estas se obtienen a continuación:

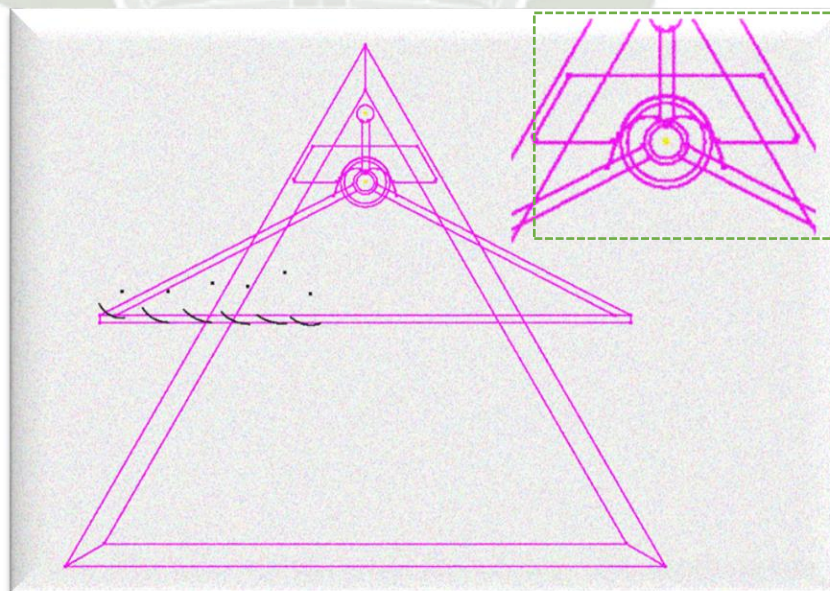
3.6.1. Alternativa 1 (Alta eficiencia):

A2-B1-C1-D1-E1-F1-G2

Esta alternativa presenta una mayor eficiencia en cuanto a la capacidad de absorción de energía disponible dada la presencia de espejos curvos como reflector principal. Esta alternativa probablemente sea mucho más costosa que cualquier otra, sin embargo, desde el punto de vista técnico es la que proporcionará más calor.

Figura 3.8

Alternativa de solución 1



Fuente: Elaboración propia.

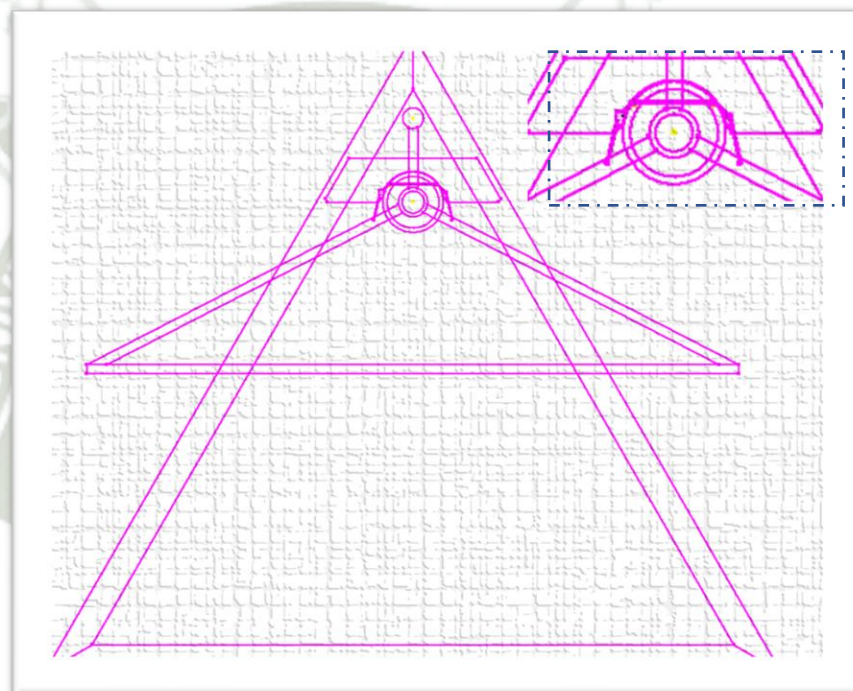
Nota: Nótese las proyecciones de los espejos curvos en la base del colector Fresnel. El CPC mostrado es de construcción curva.

3.6.2. Alternativa 2 (Intermedia):

A1-B2-C1-D1-E1-F1-G2

La alternativa 2 presenta una eficiencia menor respecto a la Alternativa 1, respecto al análisis óptico de todo el sistema. Las características constructivas de esta alternativa son más ventajosas respecto a otras, por el hecho de que el CPC sea plano.

Figura 3.9
Alternativa de solución 2



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Nótese la configuración plana del CPC. Los espejos no se muestran debido a la presencia del colector Fresnel.

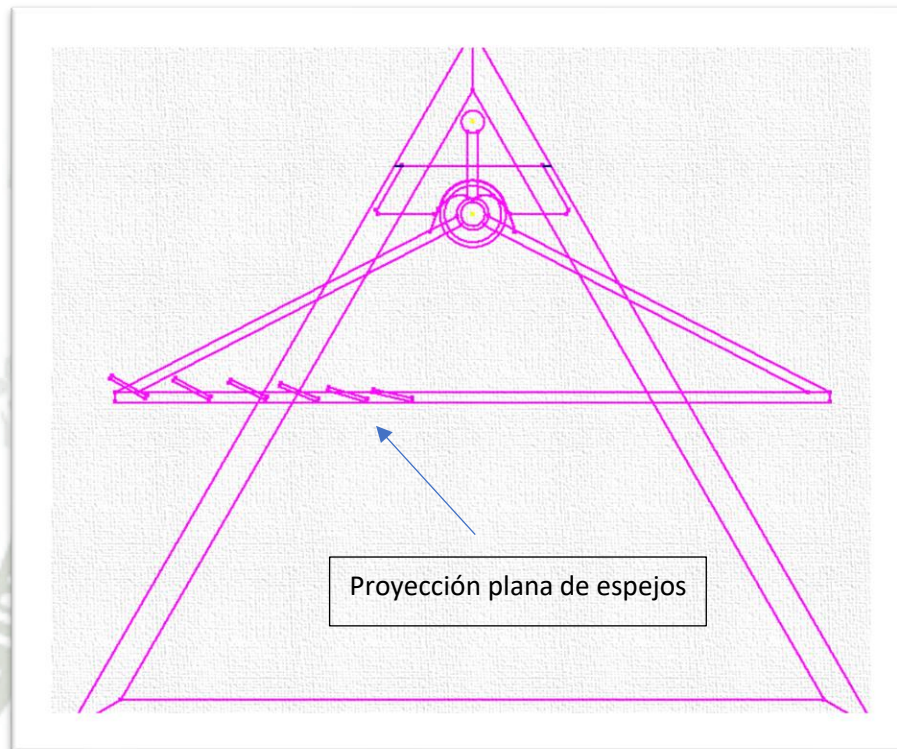
3.6.3. Alternativa 3 (Intermedia):

A1-B1-C2-D1-E2-F1-G1

La alternativa 3 presenta dos características únicas de todo el diseño, dado que el CPC es curvo, por lo cual se podría compensar enormemente la elección de

espejos planos durante su planeamiento. También se destaca por el uso de contrapesas del tipo tubulares.

Figura 3.10
Alternativa de solución 3



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Nótese los espejos planos proyectados en la vista de perfil. El CPC también es curvo.

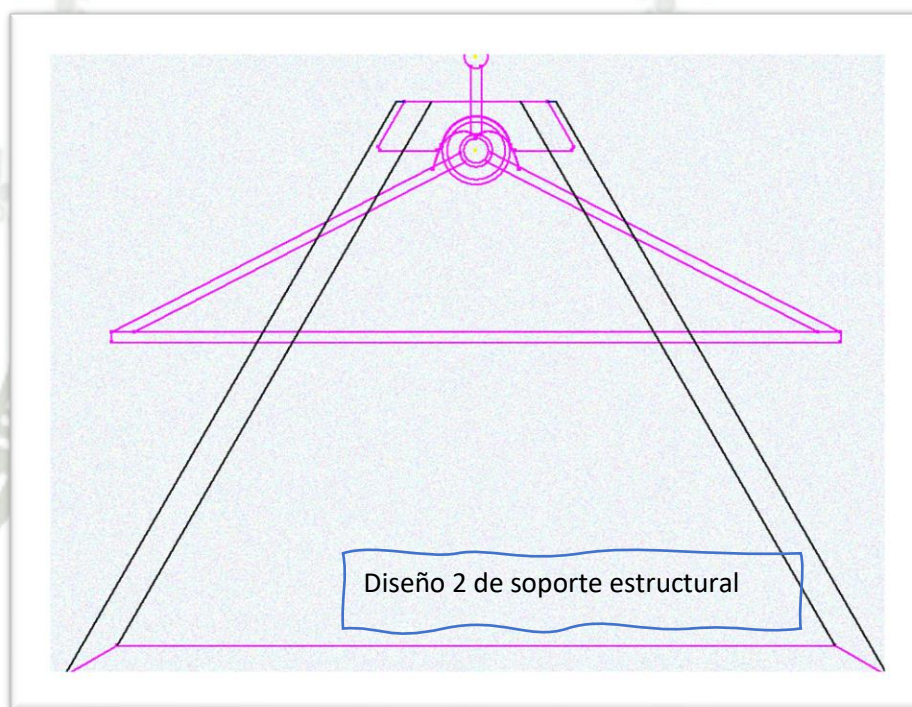
3.6.4. Alternativa 4 (Económica):

A1-B2-C2-D1-E1-F1-G2

Esta alternativa es la mas económica, aunque técnicamente no puede competir con las demás alternativas. Este tipo de aplicaciones podría llevarse para bajos requisitos de energía, requisitos donde sería favorable su elección.

Figura 3.11

Alternativa de solución del tipo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Nótese una estructura menos rígida, pero más sencilla de construir. El CPC es de origen plano, ligeramente rolado para adaptarse a las condiciones de un CPC curvo. Los espejos también son planos.

3.7. Evaluación técnica-económica

VALOR TÉCNICO (X_i)

Proyecto: **DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL ROTATORIO DE USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL**

P: puntaje de 0 a 4 (VDI 2225 (Alois Breiing, 2009)); 0 = Insatisfactorio, 1 = Tolerable con deficiencias, 2 = Adecuado, 3 = Bueno, 4 = Muy bueno (ideal).

G: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación

Criterio de evaluación para diseños en fase de concepto

Variante de Concepto		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		
N°	Criterios de evaluación	G (Grado de relevancia)	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	FUNCIÓN PRINCIPAL	4	4	16	4	16	4	16	2	8
2	Geometría:	4	4	16	3	12	4	16	1	4
3	Cinemática:	3	3	9	3	9	3	9	2	6
4	Energía	3	4	12	3	9	4	12	1	3
5	Control de calidad:	3	3	9	3	9	3	9	3	9
6	Montaje:	3	2	6	3	9	3	9	3	9
7	Fabricación:	3	2	6	4	12	3	9	3	9
8	Transporte:	2	1	2	3	6	3	6	4	8
9	Costos:	4	1	4	3	12	3	12	4	16
10	Mantenimiento:	2	2	4	3	6	3	6	4	8
Promedio ponderado:		1	0.677419355		0.806451613		0.838709677		0.64516129	
Prioridad:			C		B		A		D	

VALOR ECONÓMICO (Y_i)

Fuente: Elaboración propia.

Proyecto: **DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL ROTATORIO DE USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL**

P: puntaje de 0 a 4 (VDI 2225 (Alois Breiing, 2009)); 0 = Insatisfactorio, 1 = Tolerable con deficiencias, 2 = Adecuado, 3 = Bueno, 4 = Muy bueno (ideal).

G: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación

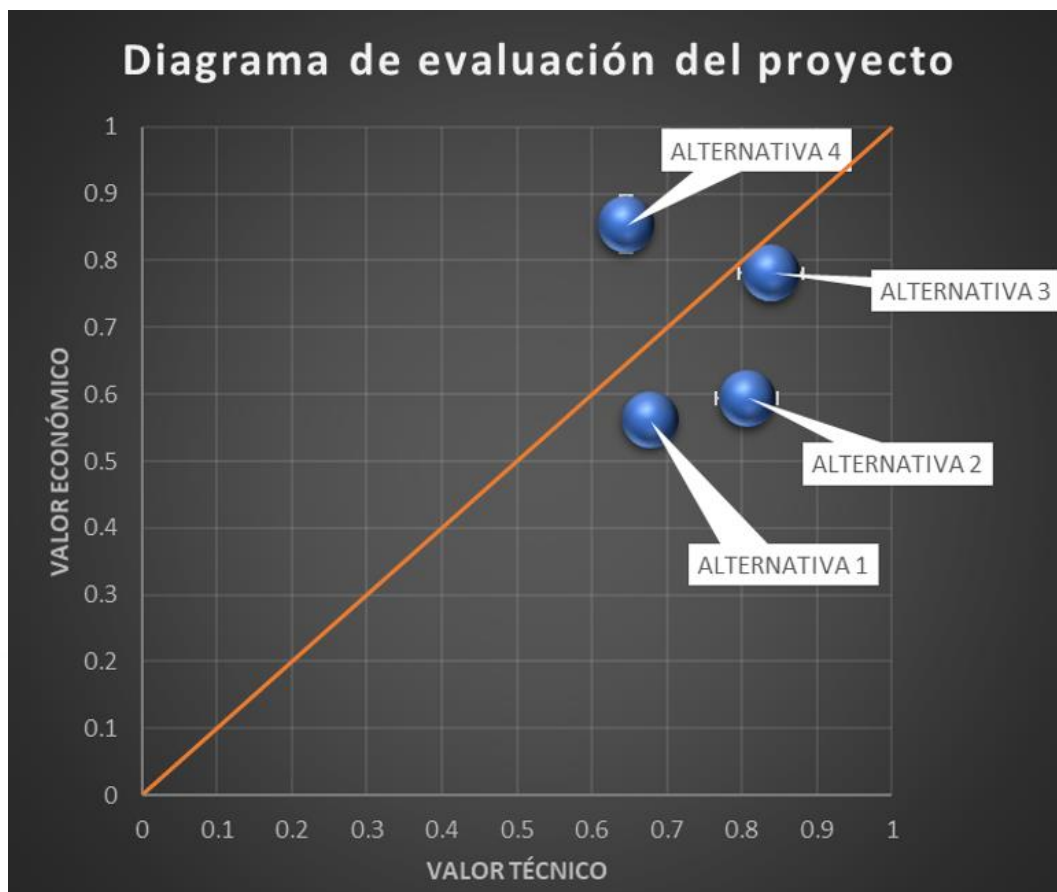
Criterio de evaluación para diseños en fase de concepto

Variante de Concepto		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		
Nº	Criterios de evaluación	G (Grado de relevancia)	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	COSTO GENERAL DE FABRICACIÓN	4	2	8	2	8	3	12	4	16
2	COSTO DE DISEÑO	3	2	6	3	9	3	9	4	12
3	COSTO DE MATERIALES	4	2	8	2	8	3	12	4	16
4	COSTO DE MANTENIMIENTO	3	2	6	2	6	4	12	4	12
5	COSTO DE REPUESTOS	4	2	8	3	12	3	12	3	12
6	COSTO DE AUTOMATIZACIÓN	4	3	12	2	8	3	12	2	8
7	VIDA ÚTIL	2	3	6	3	6	3	6	3	6
Promedio ponderado:		1	0.5625		0.59375		0.78125		0.854166667	
Prioridad:			D		C		B		A	

Fuente: Elaboración propia.

Las anteriores tablas de diseño nos indican la clara tendencia de la elección de las alternativas 2 y 3. Una buena forma de visualizar los datos obtenidos es de forma gráfica:

Figura 3.12
Diagrama de evaluación del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Este diagrama nos permite identificar como viable y más tentativa a la Alternativa 3, por lo que el desarrollo de los siguientes capítulos estará basado en la alternativa de diseño anteriormente descrita.



4. DISEÑO ESTRUCTURAL

4.1. Introducción

El diseño estructural del mecanismo presentado requiere de la relación técnica de tres aspectos por considerarse. Para desarrollar el diseño de un mecanismo complejo, es necesario subdividir las relaciones existentes en actividades simples.

Por lo anterior, el diseño se ha simplificado en tres apartados importantes, de los cuales, el competente a este capítulo es el desarrollo de la memoria estructural. Los otros dos (térmico y óptico), se han de presentar de manera que sustenten la geometría básica del mecanismo propuesto.

4.2. Diseño geométrico de la estructura

4.2.1. Diseño óptico de la propuesta

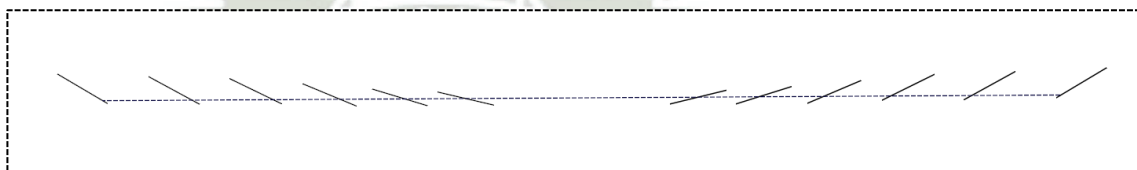
El diseño óptico del concentrador Fresnel lineal consta de la determinación de dos componentes principales:

4.2.1.1. El concentrador primario:

Referido al grado de inclinación de cada espejo para conducir a los rayos solares hacia un área local.

Figura 4.1

Distribución de los espejos en el sistema Fresnel

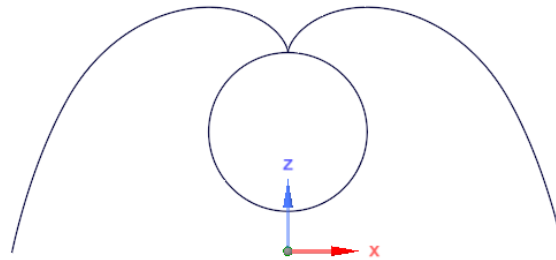


Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. El concentrador secundario (CPC):

Referido a la forma del receptor de los rayos conducidos por el concentrador primario, hacia el tubo de calentamiento.

Figura 4.2
Perfil del concentrador secundario



“El desarrollo de las ecuaciones que describen la posición óptima fueron desarrolladas de acuerdo con la literatura” (Rosas & Chicata, 2021; Bellos & Tzivanidis, 2018).

$$x = r_1 \sin \theta_0 - p \cos \theta_0$$

$$y = -r_1 \cos \theta_0 - p \sin \theta_0$$

Donde, p , se calcula de la siguiente manera:

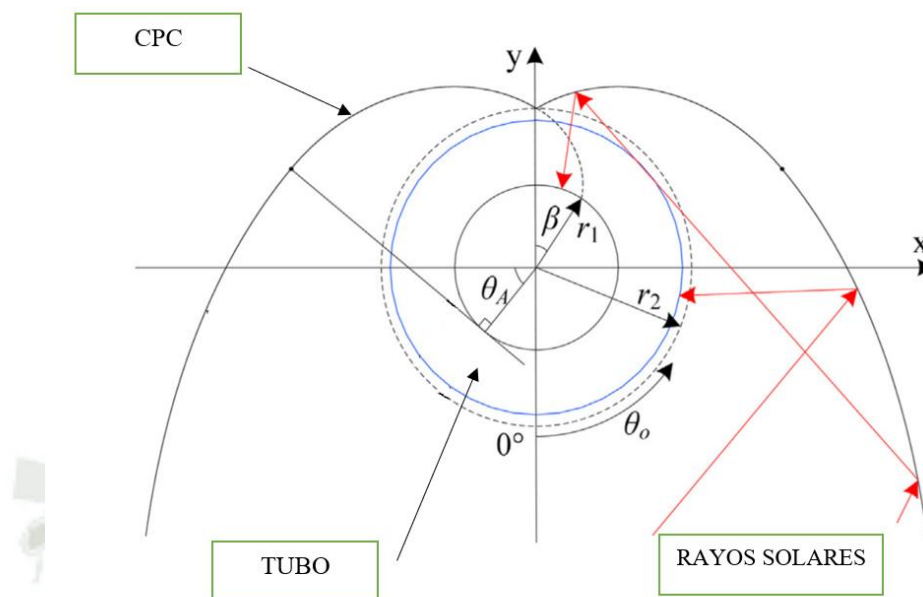
$$\rho = r_1 (\theta_0 + \beta); \text{ para } \arccos\left(\frac{r_1}{r_2}\right) \leq \theta_0 \leq \frac{\pi}{2} + \theta_A; \theta_A = 60^\circ$$

$$\rho = r_1 \frac{\left(\frac{\pi}{2} + \theta_0 + \theta_A + 2\beta - \cos(\theta_0 - \theta_A)\right)}{1 + \sin(\theta_0 - \theta_A)}; \text{ para } \frac{\pi}{2} + \theta_A \leq \theta_0 \leq \frac{3\pi}{2} - \theta_A$$

$$\beta = \sqrt{\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 - 1} - \arccos\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$$

Donde, las dimensiones anteriores se basan en la siguiente figura:

Figura 4.3
Desarrollo del CPC

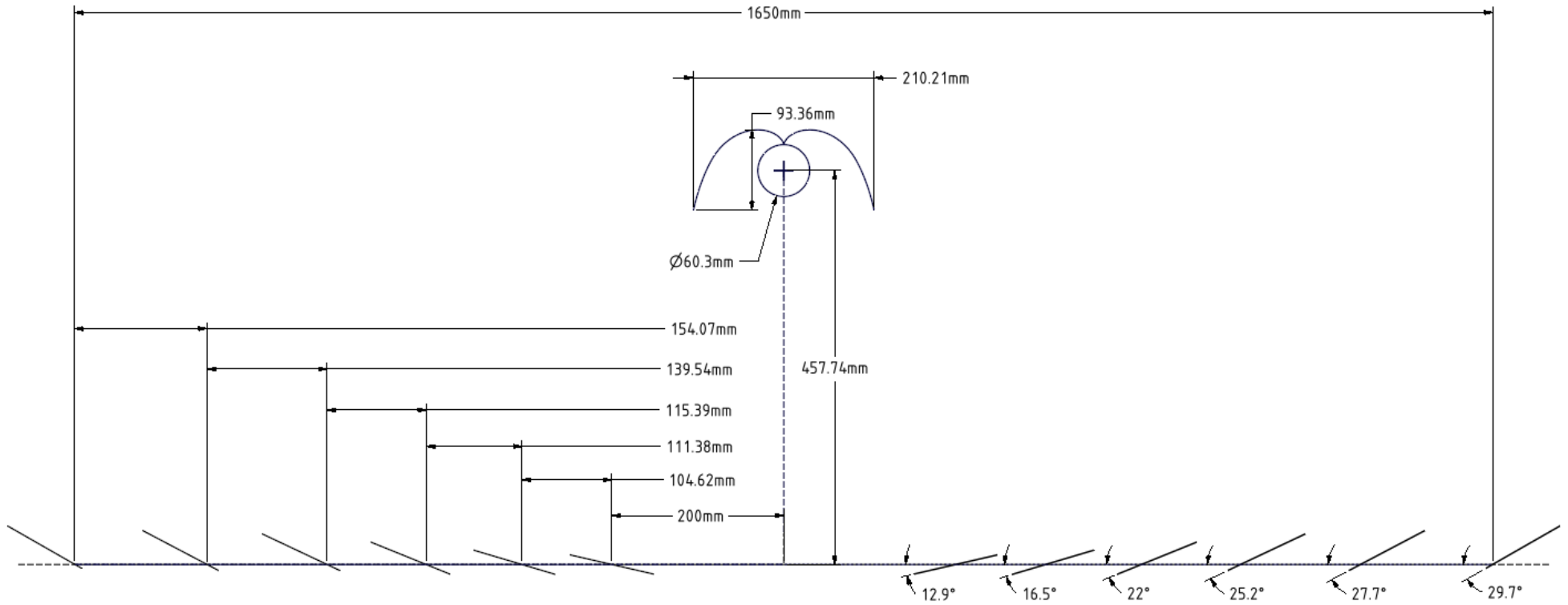


Fuente: Rosas & Chicata, (2021).

4.2.1.3. Diseño LFR

El diseño LFR se refiere a la geometría completa de todo el modelo (CPC + Distribución de espejos).

Figura 4.4
Distribución completa del sistema LFR



Fuente: Elaboración propia.

La construcción del modelo y de la inclinación de los espejos fue investigado en la literatura Rosas y Chicata, 2021. Una adaptación a la aplicación de esta investigación se resume a continuación:

Ecuaciones de diseño:

- $\theta_i = \theta_r$
- $90^\circ = \beta + (90 - \theta_r)$
- $\beta = \theta_i$
- $90^\circ = \beta + (90 - \alpha) + \theta_i$
- $2\beta = \alpha$
- $\tan \alpha = (x / 450.00)$

Inclinación y posición de cada espejo:

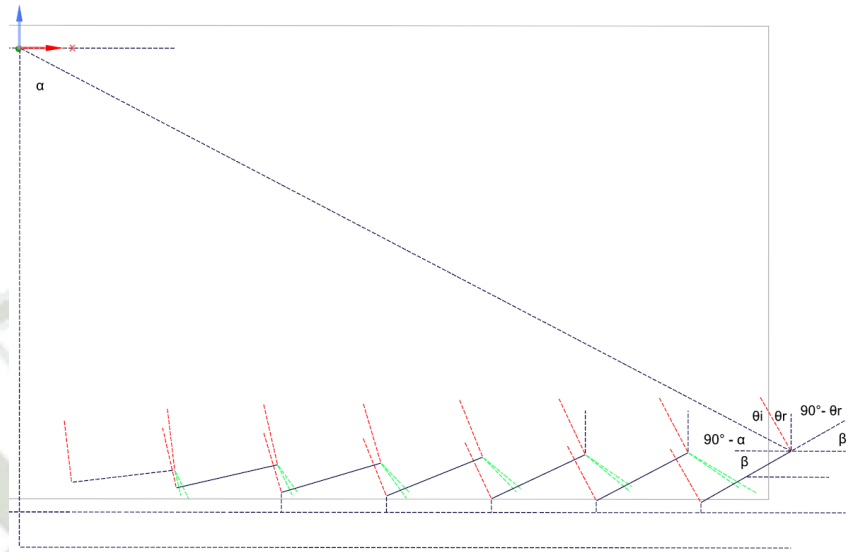
Tabla 4.1
Inclinación y posición de cada espejo

X (mm)	(α)	β ($^\circ$)	β ($^\circ$) “corregido”
200.00	23.96	11.98	12.90
313.00	34.82	17.41	16.50
434.00	43.96	21.98	22.00
561.00	51.26	25.63	25.20
701.00	57.30	28.65	27.70
860.00	62.37	31.19	29.70

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5

Layout del método gráfico de diseño óptico



Fuente: Rosas & Chicata, (2021).

4.2.2. Diseño térmico de la propuesta

El diseño térmico del concentrador Fresnel lineal nos proporciona los valores de temperatura de trabajo del sistema mecánico, el cual influirá en los esfuerzos y deformaciones del mecanismo propuesto.

El modelo térmico del sistema propuesto Rosas y Chicata, 2021, toma la siguiente forma:

Apertura del colector (área de espejos):

$$A_a = n * A_e = 2 * 6 (0.1 * 3) = 3.6 \text{ m}^2$$

Irradiación del haz solar directa (Promedio en Arequipa):

$$G_b = 750 \text{ W/ m}^2$$

Calor útil (eficiencia óptica del sistema, 0.725):

$$Q_u = \eta_{th} Q_s = 0.725 * 750 * 3.6 = 1957.5 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_e - T_i)$$

$$\dot{Q} = \rho V_{prom} A_{tubo} c_{p(10-80^{\circ}C)}(T_e - T_i)$$

$$\dot{Q} = 9551.4 V_{prom} (T_e - 10)$$

Donde:

- \dot{Q} = calor útil del sistema
- \dot{m} = flujo de agua (kg/s)
- V_{prom} = Velocidad promedio de entrada del flujo
- T_e = Temperatura de salida del flujo
- T_i = Temperatura de salida del flujo
- ρ = densidad del agua
- $c_{p(10-80^{\circ}C)}$ = calor específico a presión constante

A continuación, se describe en resumen las temperaturas de trabajo y el régimen de operación del concentrador.

Tabla 4.2
Régimen de operación del sistema LFR propuesto (20 – 50 °C)

Capacidad de calor (Respecto a la irradiancia normal promedio W/m ²)	Temperatura promedio objetivo (°C)						
	20	25	30	35	40	45	50
50%	82.93	55.28	41.46	33.17	27.64	23.69	20.73
60%	99.51	66.34	49.76	39.80	33.17	28.43	24.88
70%	116.10	77.40	58.05	46.44	38.70	33.17	29.02
80%	132.68	88.45	66.34	53.07	44.23	37.91	33.17
90%	149.27	99.51	74.63	59.71	49.76	42.65	37.32
100%	165.85	110.57	82.93	66.34	55.28	47.39	41.46
110%	182.44	121.63	91.22	72.98	60.81	52.13	45.61
120%	199.02	132.68	99.51	79.61	66.34	56.86	49.76
130%	215.61	143.74	107.80	86.24	71.87	61.60	53.90
140%	232.19	154.80	116.10	92.88	77.40	66.34	58.05
150%	248.78	165.85	124.39	99.51	82.93	71.08	62.19
160%	265.36	176.91	132.68	106.15	88.45	75.82	66.34

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3
Régimen de operación del sistema LFR propuesto (55-85°C)

Capacidad de calor (Respecto a la irradiancia normal promedio W/m^2)	Temperatura promedio (°C)						
	55	60	65	70	75	80	85
50%	18.43	16.59	15.08	13.82	12.76	11.85	11.06
60%	22.11	19.90	18.09	16.59	15.31	14.22	13.27
70%	25.80	23.22	21.11	19.35	17.86	16.59	15.48
80%	29.48	26.54	24.12	22.11	20.41	18.95	17.69
90%	33.17	29.85	27.14	24.88	22.96	21.32	19.90
100%	36.86	33.17	30.16	27.64	25.52	23.69	22.11
110%	40.54	36.49	33.17	30.41	28.07	26.06	24.33
120%	44.23	39.80	36.19	33.17	30.62	28.43	26.54
130%	47.91	43.12	39.20	35.93	33.17	30.80	28.75
140%	51.60	46.44	42.22	38.70	35.72	33.17	30.96
150%	55.28	49.76	45.23	41.46	38.27	35.54	33.17
160%	58.97	53.07	48.25	44.23	40.83	37.91	35.38

Fuente: Elaboración propia.

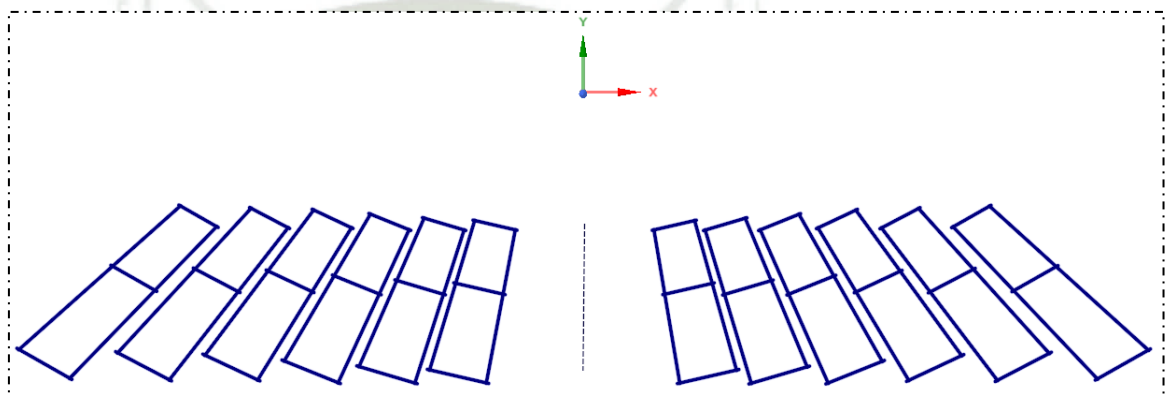
4.3. Diseño estructural

4.3.1. Diseño preliminar del arreglo de vigas

4.3.1.1. Diseño del soporte de espejos

El diseño del soporte de los espejos comprende la determinación de las cargas actuantes y la selección de los perfiles adecuados para la construcción de la estructura.

Figura 4.6
Diagrama de vigas del soporte de espejos



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2. Diagrama de cuerpo libre

4.3.1.2.1. Peso del espejo:

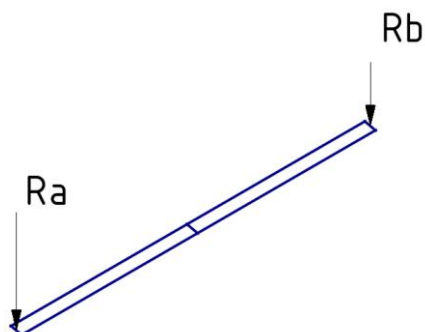
$$\text{Volumen: } H \times L \times e = 0.1 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 0.005 \text{ m} = 0.0015 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad del vidrio: } 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de cada espejo: } 2500 \times 0.0015 \times 9.81 = 36.8 \text{ N}$$

Figura 4.7

Reacciones propias del peso de cada espejo



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2.2. Selección de perfiles

Se considera una distribución en cada viga lateral:

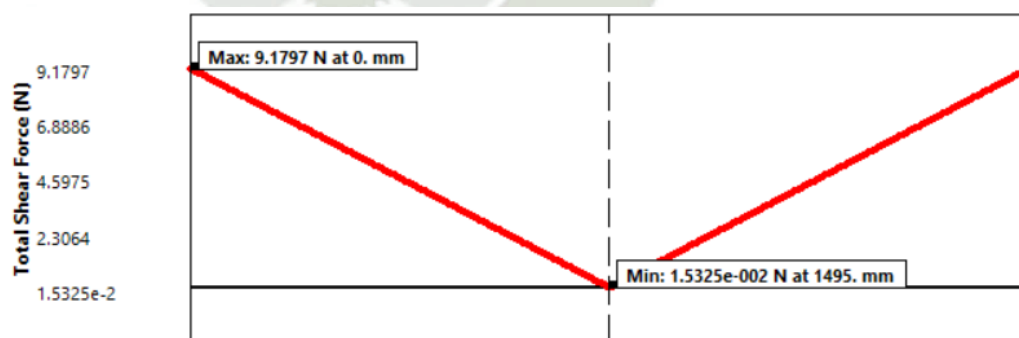
$$w = (36.8 \text{ N} / 2) / 3 \text{ m} = 6.13 \text{ N/m}$$

En cada viga longitudinal:

Diagrama de fuerza cortante:

Figura 4.8

Diagrama de fuerza cortante para la viga indicada

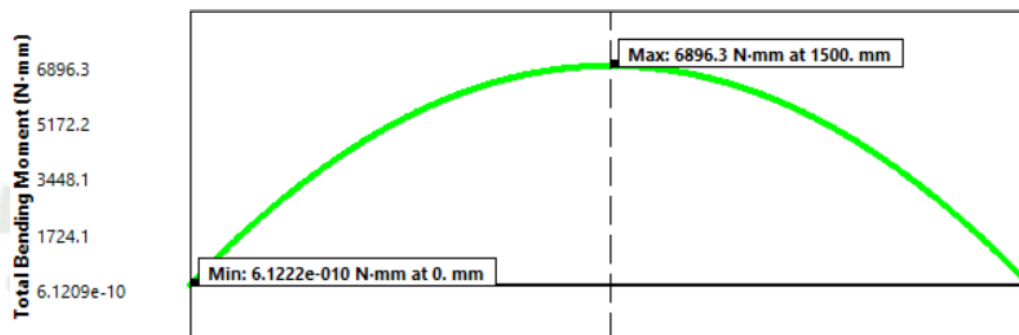


Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de Momento flector:

Figura 4.9

Diagrama de momento flector para la viga indicada



Fuente: Elaboración propia.

Escogiendo un perfil estructural L, de acuerdo con la disponibilidad local, se tienen completos los esfuerzos en el extremo mas lejano del perfil de la viga; y, la deformación en la línea media de la viga:

Figura 4.10

Ángulos estructurales de acero al carbono para el soporte de espejos



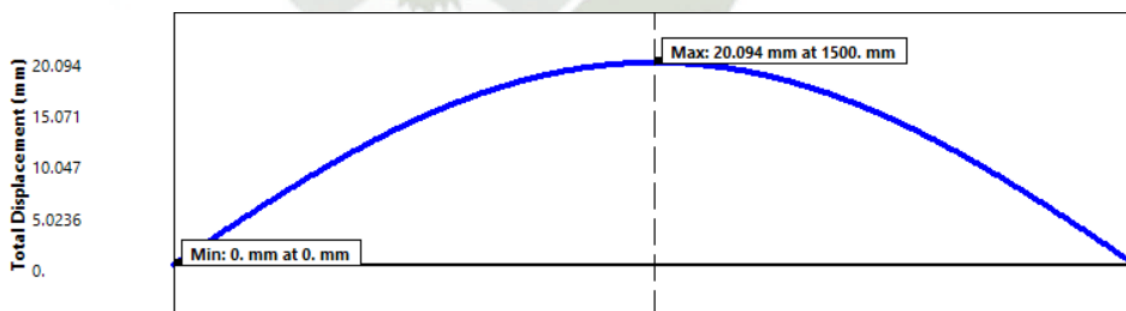
Fuente: Aceros Arequipa, (2022).

Deformación:

La deformación máxima obtenida fue de 20 mm en la sección central de la viga:

Figura 4.11

Deformación obtenida en cada viga del soporte de espejos



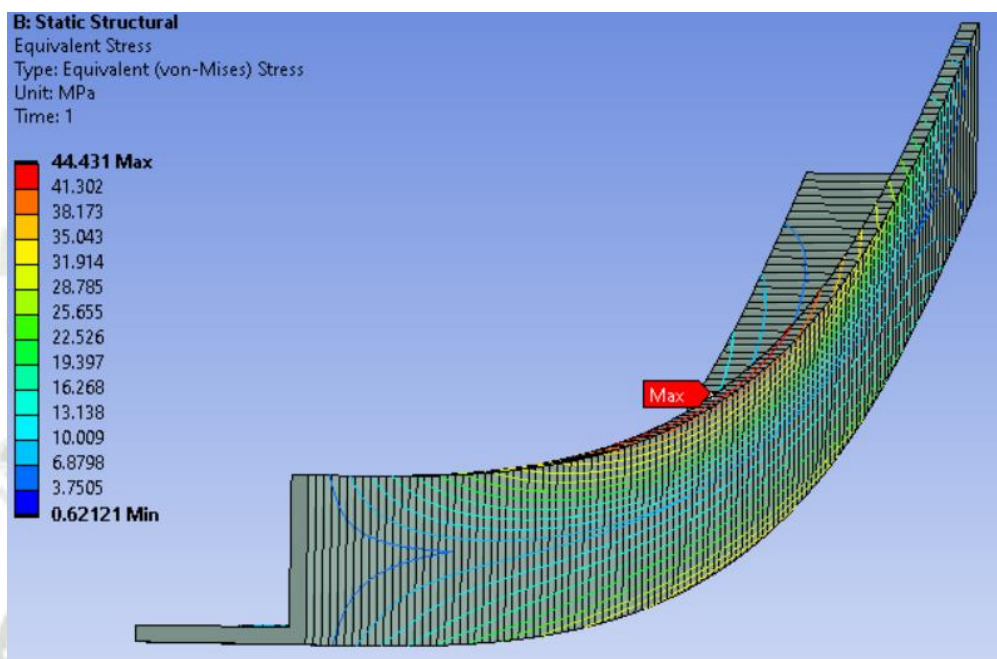
Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo equivalente de von-Misses:

El esfuerzo máximo obtenido según el criterio de von-Misses fue de 44 Mpa en la sección central de la viga:

Figura 4.12

Isolíneas de esfuerzo equivalente (von-Misses) para la viga longitudinal del soporte de espejos



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2.3. Síntesis final

En resumen, se tienen los datos siguientes para la viga longitudinal de soporte de espejos:

Tabla 4.4

Datos técnicos del ángulo estructural L 20 x 20 x 2 mm

Concepto	Valor	Posición longitudinal (0-3000 mm)
Fuerza cortante	9.2 N	0 ; 3000 mm
Momento flector	6896 Nmm	1500 mm
Deformación	20 mm	1500 mm
Esfuerzo equivalente	44.4 MPa	1500 mm

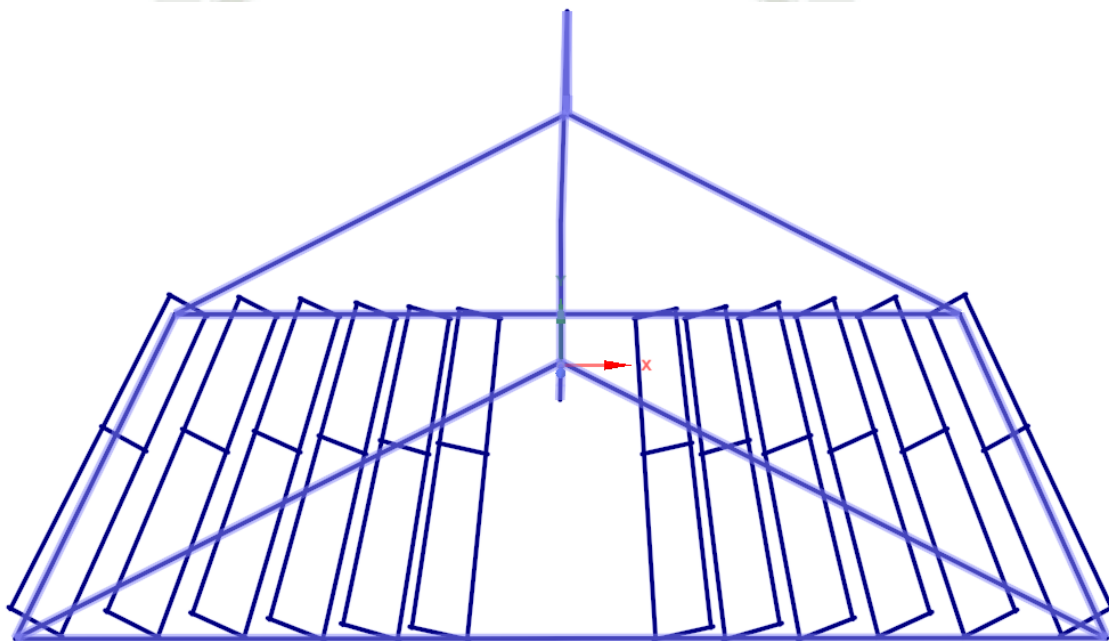
Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3. Diseño del concentrador lineal Fresnel

Se refiere a la selección de las vigas que componen la estructura rotatoria del concentrador Fresnel, mediante la verificación de los valores del estado de esfuerzo sometido a las cargas definidas y la deformación propia de las mismas.

Figura 4.13

Diagrama de vigas para el soporte de espejos y el concentrador lineal

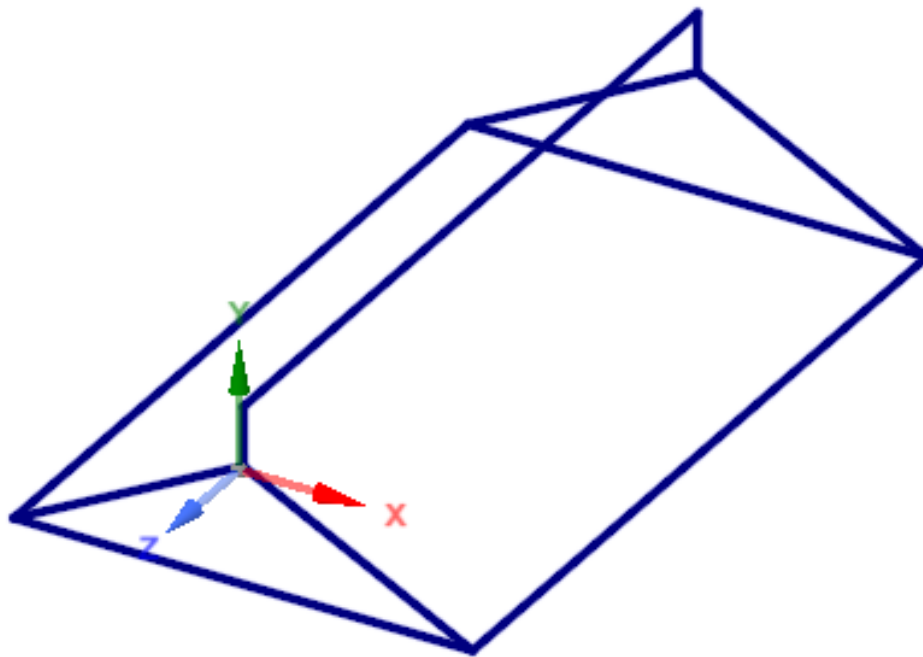


Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior, extraemos la estructura que analizaremos en este apartado, a la cual aislaremos para realizar el estudio mecánico correspondiente:

Figura 4.14

Diagrama de vigas para el concentrador lineal rotatorio

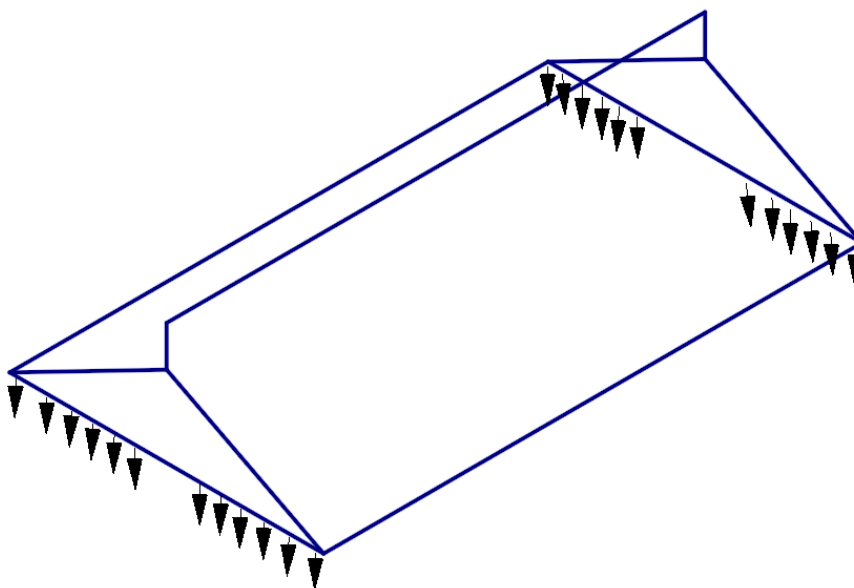


Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3.1. Diagrama de cuerpo libre

Figura 4.15

Fuerzas debido al peso de los espejos y las vigas



Fuente: Elaboración propia.

Peso de los 12 espejos:

Peso del conjunto: $12 \times 36.8 \text{ N} = 441.6 \text{ N}$

Peso de las vigas $L = 24 \times (9.81 \text{ m/s}^2 \times 1.8 \text{ kg}) = 421.4 \text{ N}$

Peso en cada conexión: $(441.6 + 421.4) / 24 = 36 \text{ N}$

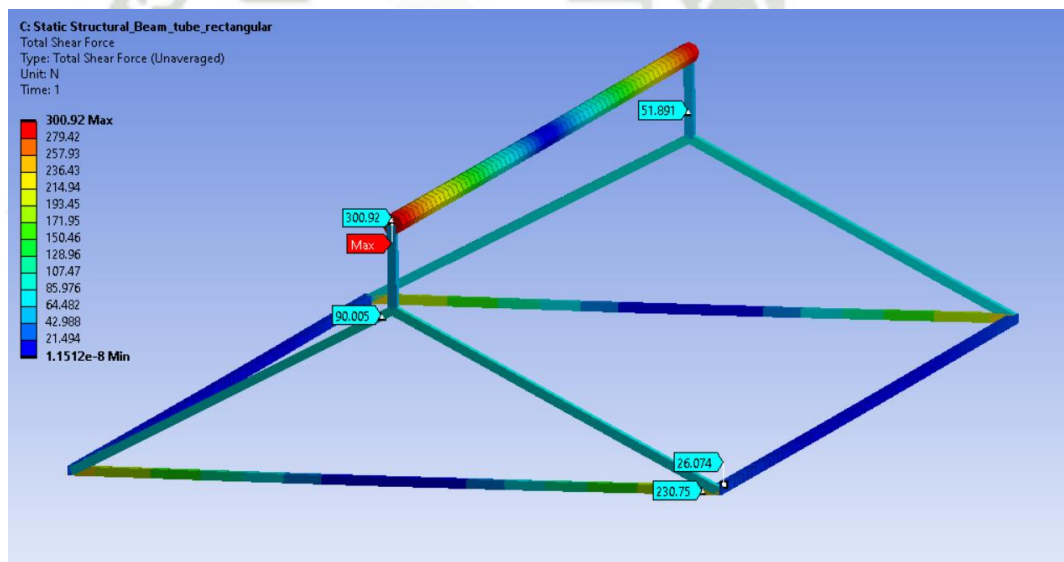
4.3.1.3.2. Selección de perfiles

Diagrama de fuerza cortante:

El diagrama de esfuerzo cortante se ha representado de manera gráfica para todos los componentes de la viga:

Figura 4.16

Diagrama de fuerza cortante para el conjunto de vigas indicadas



Fuente: Elaboración propia.

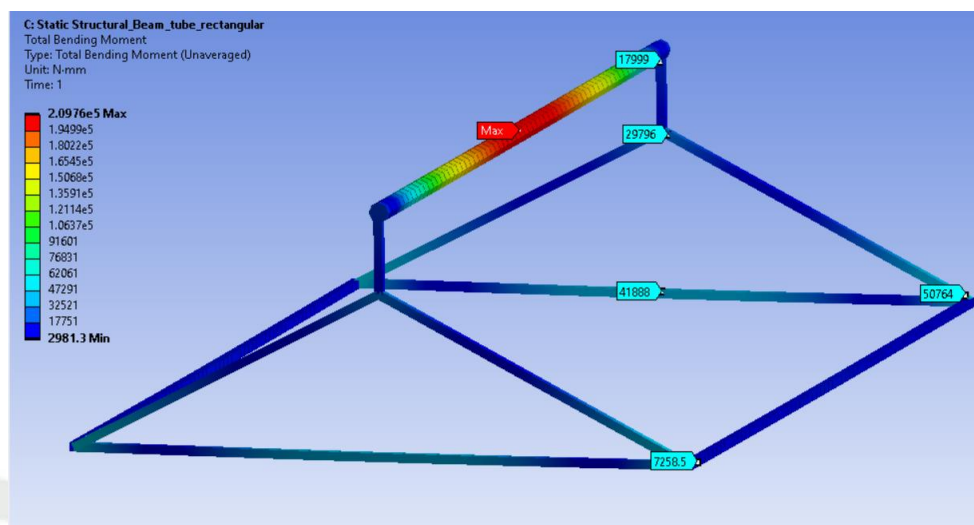
Nota. Nótese el valor de fuerza cortante máxima: 300.9 N

Diagrama de Momento flector:

El diagrama de momento flector se ha representado de manera gráfica para todos los componentes de la viga:

Figura 4.17

Diagrama de momento flector para el conjunto de vigas indicadas



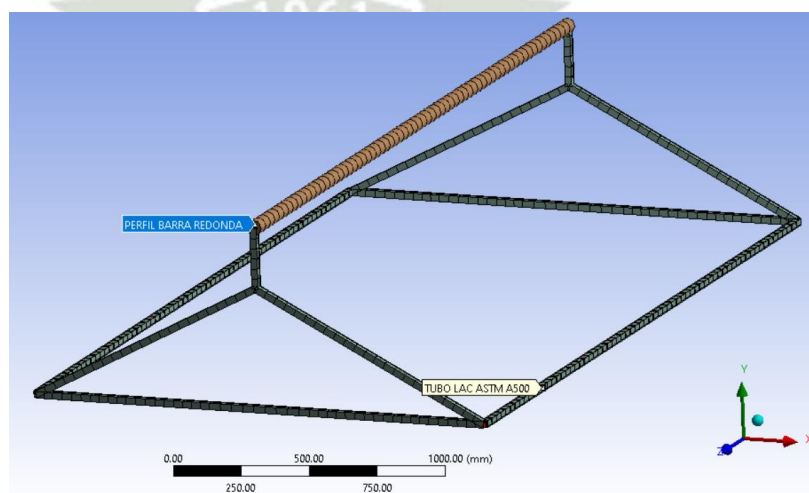
Fuente: Elaboración propia.

Nota. Nótese el valor de momento flector máximo: 2.0976×10^5 N.mm

La estructura analizada tiene proyectada para su construcción 2 perfiles estructurales diferentes: el primero para otorgar la rigidez al sistema y el segundo para compensar el peso de la estructura debido al momento de torque cuando se produzca la rotación.

Figura 4.18

Perfiles seleccionados para la estructura soporte del sistema de espejos



Fuente: Elaboración propia.

Escogiendo un perfil estructural de BARRA REDONDA, de acuerdo con la disponibilidad local, se tienen completos los esfuerzos en el extremo de compensación de giro de la estructura.

Figura 4.19

Perfil estructural de acero al carbono de denominación Barra redonda para el soporte de espejos

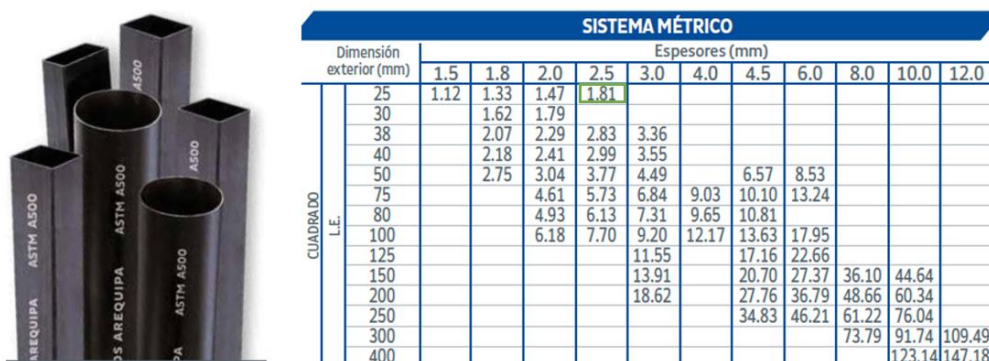


Fuente: Aceros Arequipa, (2022).

Del mismo modo, escogiendo un perfil estructural de denominación Tubo LAC ASTM A500, de acuerdo con la disponibilidad local, se tienen completos los esfuerzos en el cuerpo de la estructura.

Figura 4.20

Tubos estructurales de acero al carbono para el soporte de espejos



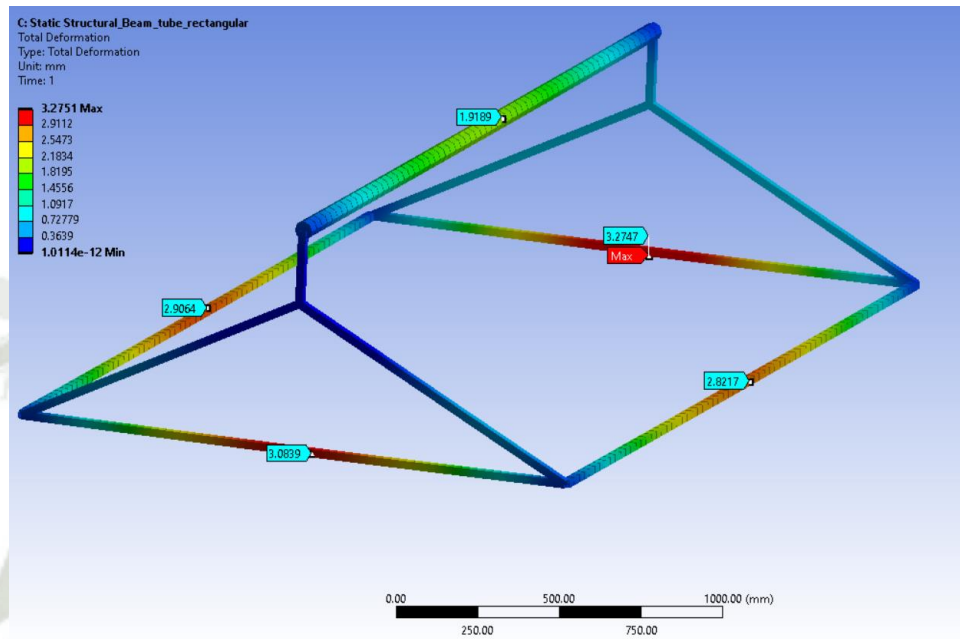
Fuente: Aceros Arequipa, (2022).

Deformación:

La deformación máxima obtenida fue de 20 mm en la sección central de la viga:

Figura 4.21

Deformación en cada viga de la estructura estudiada



Fuente: Elaboración propia.

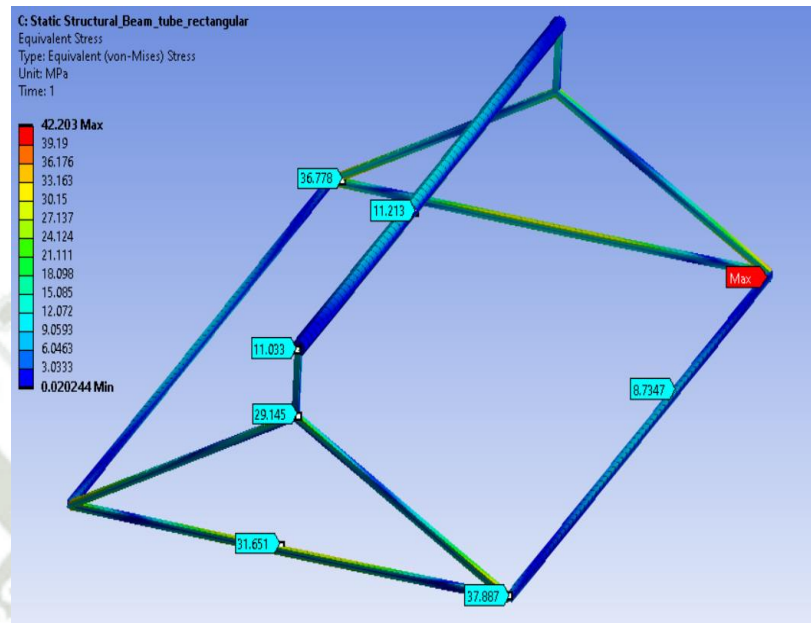
Nota: Nótese el valor de deformación máxima: 3.2 mm

Esfuerzo equivalente de von-Misses:

El esfuerzo máximo obtenido según el criterio de von-Misses fue de 44 Mpa en la sección central de la viga:

Figura 4.22

Esfuerzos en cada viga de la estructura estudiada



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Nótese 42.2 MPa como esfuerzo equivalente durante su funcionamiento.

4.3.1.3.3. Síntesis final

En resumen, se tienen los datos siguientes para la viga longitudinal de soporte de espejos:

Tabla 4.5

Datos técnicos de la estructura soporte de los espejos

VIGA	CONCEPTO	VALOR
Perfil Barra Redonda	Esfuerzo equivalente (von-Misses)	11.2 MPa
	Deformación	1.9 mm
TUBO LAC ASTM A500	Esfuerzo equivalente (von-Misses)	42.2 MPa
	Deformación	3.3 mm
CONJUNTO	Masa	86.4 kg

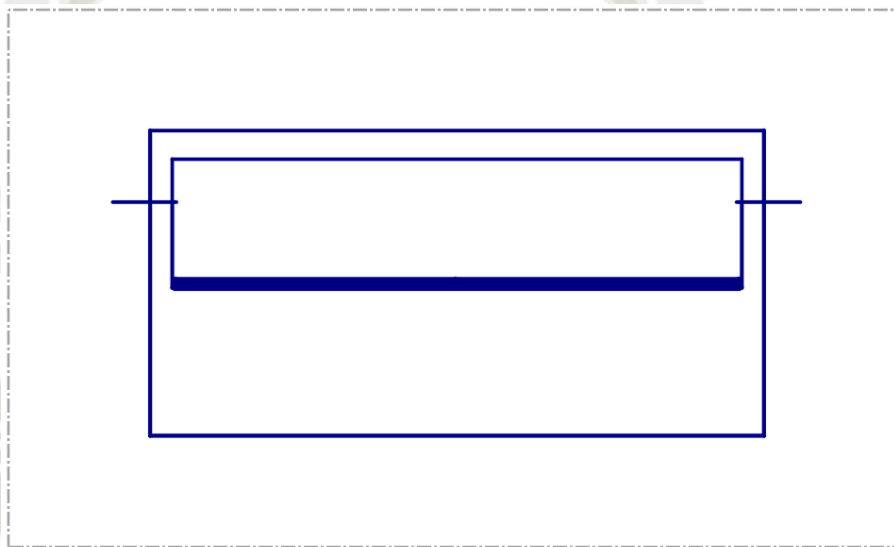
Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4. Diseño del soporte fijo

El diseño del soporte fijo comprende la determinación de las cargas actuantes y la selección de los perfiles adecuados para la construcción de la estructura. Esta estructura está pensada para permitir el giro de las estructuras internas, alrededor de la tubería.

Figura 4.23

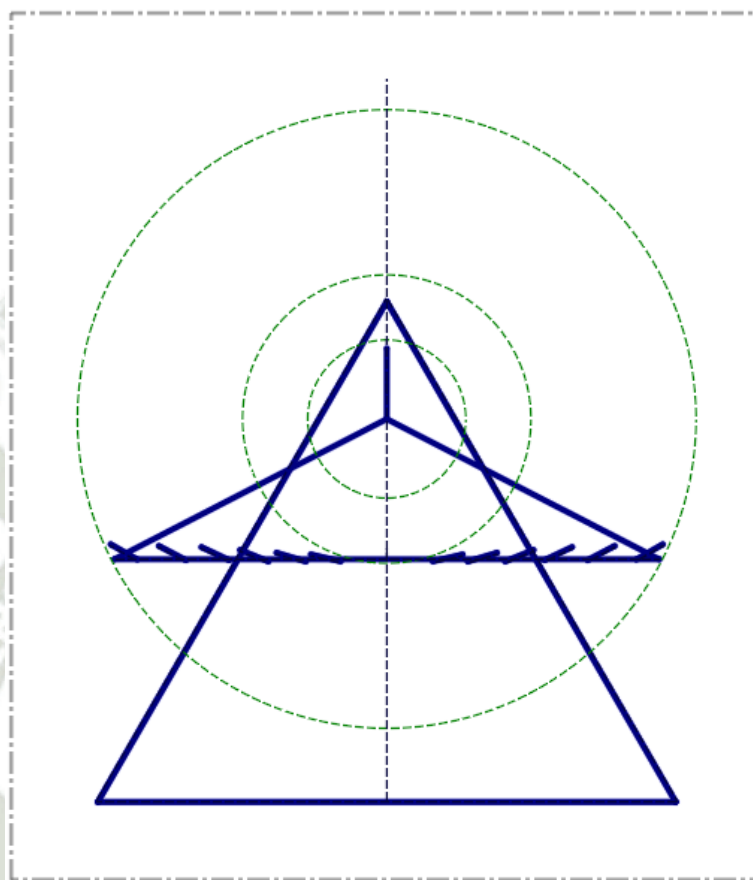
Vista lateral del diagrama de vigas, incluido el soporte fijo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.24

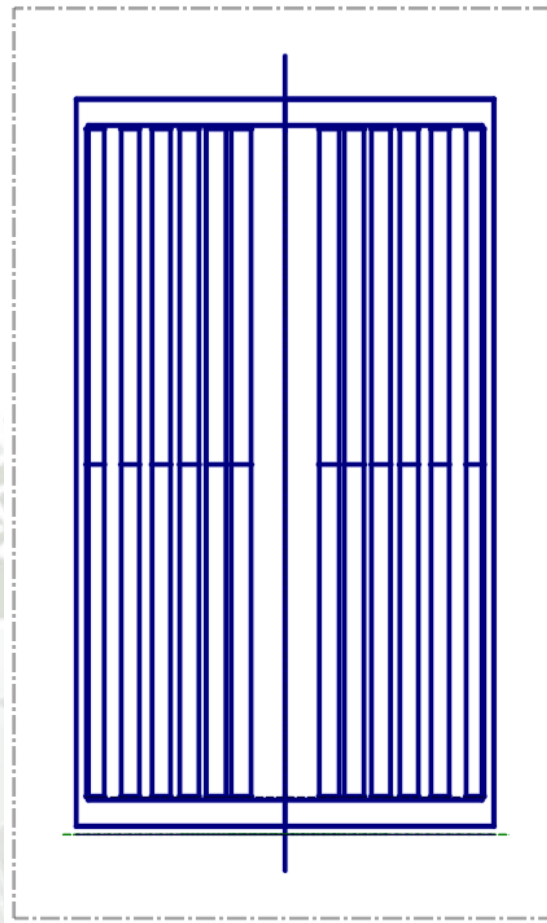
Vista lateral del diagrama de vigas, incluido el soporte fijo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.25

Vista superior del diagrama de vigas, incluido el soporte fijo



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4.1. Diagrama de cuerpo libre

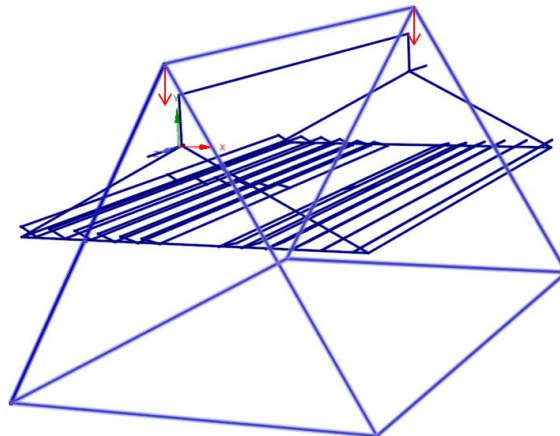
Peso de la estructura interna:

Peso del conjunto de espejos: $12 \times 36.8 \text{ N} = 441.6 \text{ N}$

Peso de las vigas L: $24 \times (9.81 \text{ m/s}^2 \times 1.8 \text{ kg}) = 421.4 \text{ N}$

Peso del concentrador: $86.4 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 847.6 \text{ N}$

Figura 4.26
Reacciones propias del peso de la estructuras internas



Fuente: Elaboración propia.

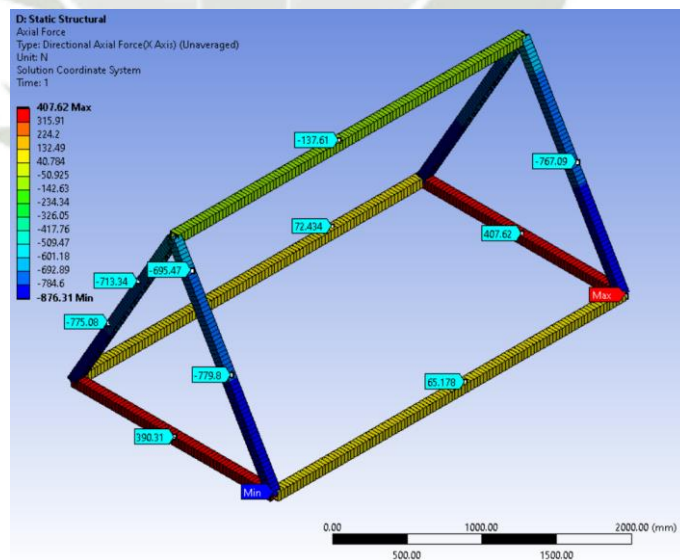
4.3.1.4.2. Selección de perfiles

Debido a la simetría del conjunto, se considera 2 fuerzas distribuidas en cada extremo de la estructura:

$$R = (847.6 + 421.4 + 441.6 \text{ N}) / 2 = 855.3 \text{ N}$$

Diagrama de fuerza axial en cada viga:

Figura 4.27
Fuerza axial en los elementos de la estructura



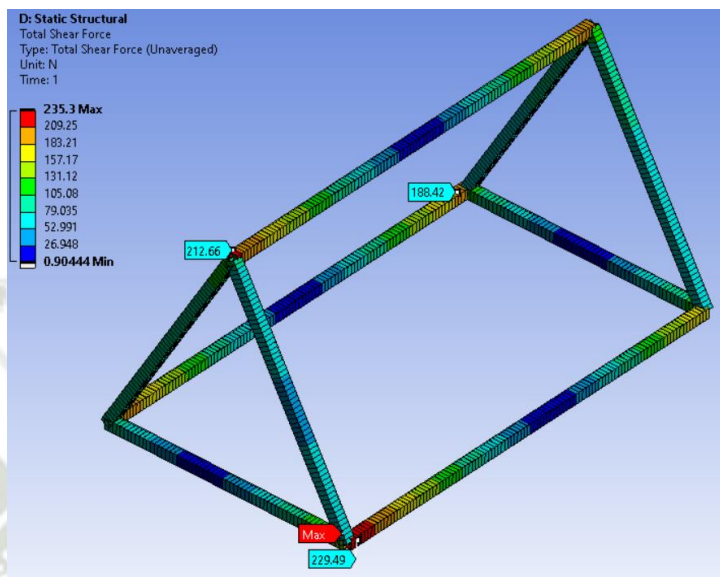
Fuente: Elaboración propia.

Nota. Nótese un valor de fuerza axial máxima: 407.6 N (Tensión) y Fuerza axial mínima: -876.3 N (Compresión)

Diagrama de fuerza cortante:

Figura 4.28

Diagrama de fuerza cortante para la estructura indicada



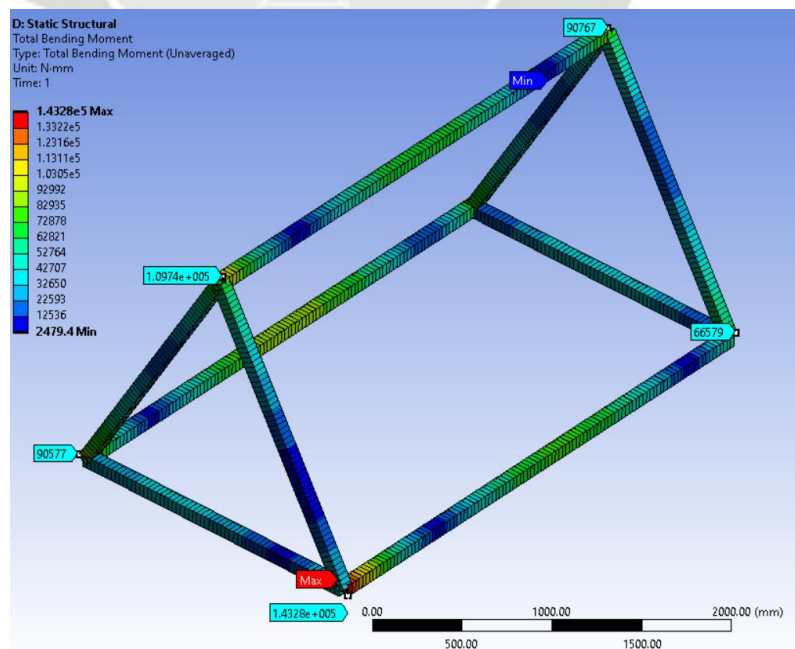
Fuente: Elaboración propia.

Nota. Nótese un valor de fuerza cortante máxima: 235 N

Diagrama de Momento flector:

Figura 4.29

Diagrama de momento flector para la estructura indicada



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Momento flector máximo: 1.4328×10^5 N.mm

Escogiendo un tubo cuadrado estructural, de acuerdo con la disponibilidad local, se tienen completos los esfuerzos en el extremo mas lejano del perfil de la viga; y, la deformación en la línea media de la viga. Se escogió un espesor de 6 mm debido a que este perfil estará soldado con una placa para el soporte del cojinete.

Figura 4.30

Tubo LAC ASTM A500 de acero al carbono para la estructura externa

SISTEMA MÉTRICO														
Dimensión exterior (mm)		Espesores (mm)												
		1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0	8.0	10.0	12.0		
CUADRADO L.E.	25	1.12	1.33	1.47	1.81									
	30		1.62	1.79										
	38		2.07	2.29	2.83	3.36								
	40		2.18	2.41	2.99	3.55								
	50		2.75	3.04	3.77	4.49			6.57	8.53				
	75			4.61	5.73	6.84	9.03	10.10	13.24					
	80			4.93	6.13	7.31	9.65	10.81						
	100			6.18	7.70	9.20	12.17	13.63	17.95					
	125					11.55		17.16	22.66					
	150					13.91		20.70	27.37	36.10	44.64			
	200					18.62		27.76	36.79	48.66	60.34			
	250							34.83	46.21	61.22	76.04			
	300									73.79	91.74	109.49		
	400										123.14	147.18		

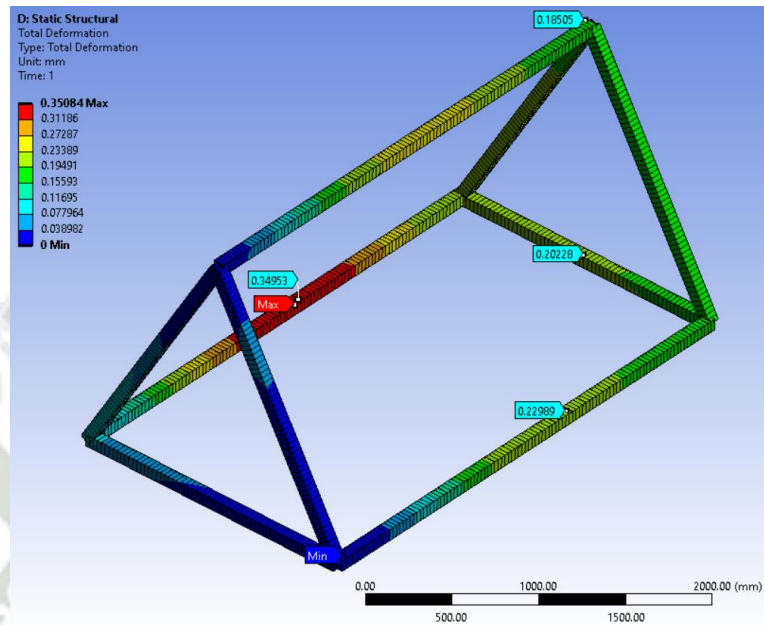
Fuente: Aceros Arequipa, (2022).

Deformación:

La deformación máxima obtenida fue de 0.4 mm en la sección central de la viga de unión entre extremos. La deformación obtenida encaje de manera idónea con las tolerancias de diseño del perfil de espejos.

Figura 4.31

Deformación obtenida en cada viga del soporte de espejos



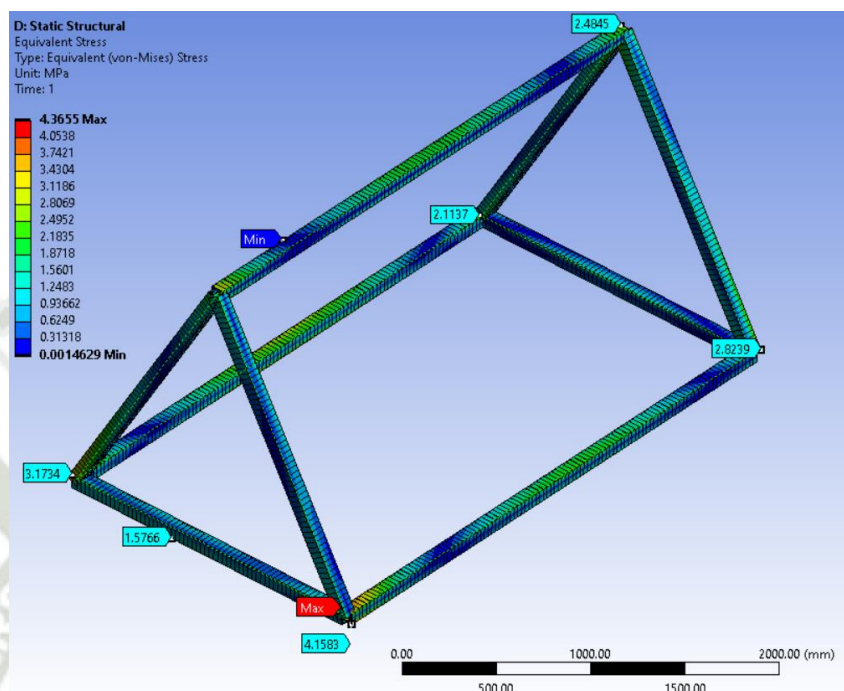
Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo equivalente de von-Mises:

El esfuerzo máximo obtenido según el criterio de von-Mises fue de 4.3 Mpa en la sección central de la viga:

Figura 4.32

Esfuerzo equivalente (von-Mises) para la estructura externa



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4.3. Síntesis final

En resumen, se tienen los datos siguientes para la viga longitudinal de soporte de espejos:

Tabla 4.6 Datos técnicos del ángulo estructural L 20 x 20 x 2 mm

Concepto	Valor
Fuerza axial	-876 N
Fuerza cortante	235 N
Momento flector	1.4328 e+005 N·mm
Deformación	0.35 mm
Esfuerzo equivalente	4.4 MPa

Fuente: Elaboración propia.

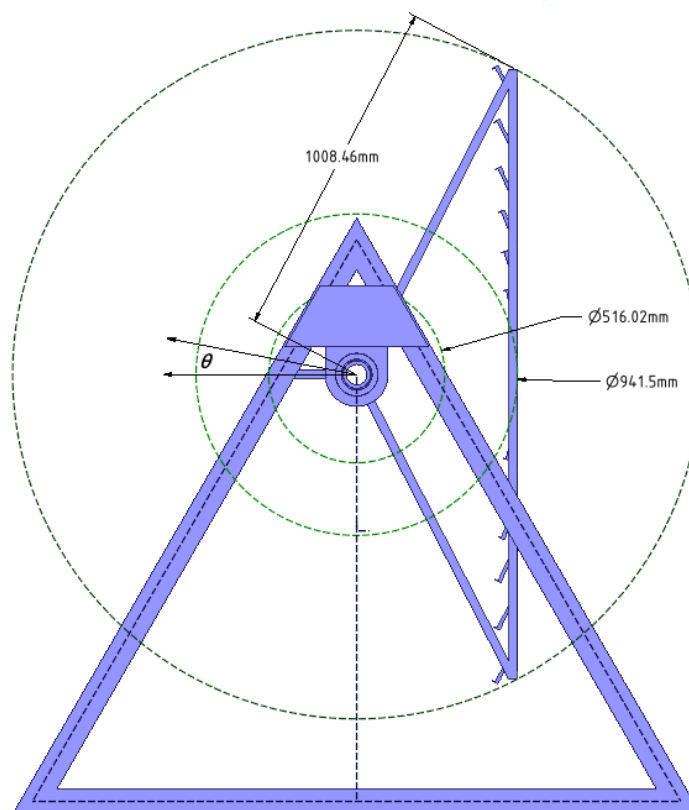
4.3.2. Diseño cinemático de la estructura

4.3.2.1. Estimación de la velocidad de giro

El giro de la estructura esta limitado por la distancia a del eje de rotación al larguero extremo de la estructura Fresnel, tal como se muestra a continuación:

Figura 4.33

Radios de giro del concentrador Fresnel



Fuente: Elaboración propia.

Posición aproximada para el receptor a:

$$7:00 \text{ Horas} \quad \theta = 80^\circ$$

$$17:00 \text{ Horas} \quad \theta = -80^\circ$$

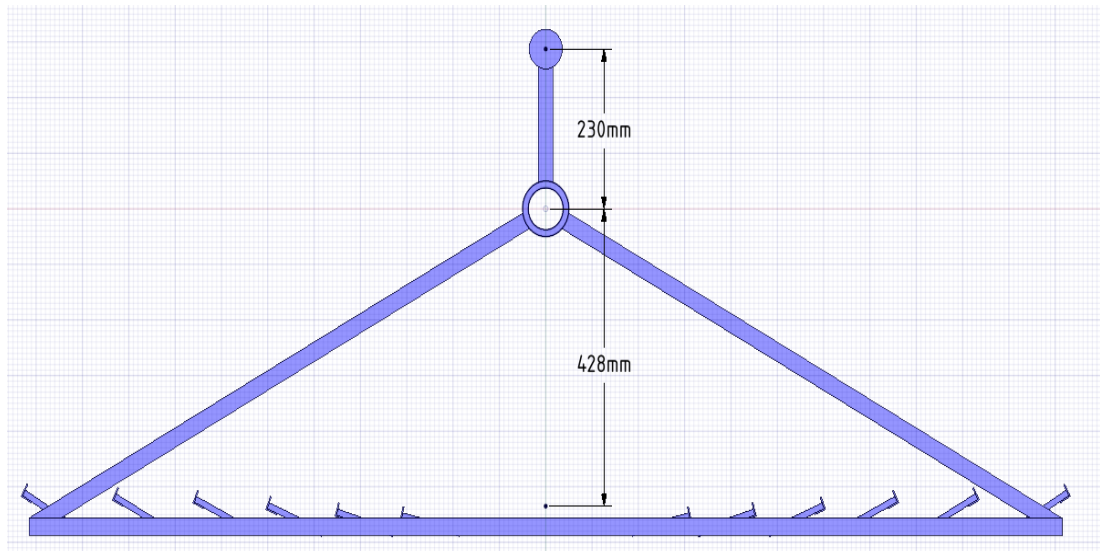
$$\omega = \frac{80 - (-80)}{17 - 7} = \frac{160}{10} = 16 \text{ deg/h}$$

4.3.2.2. Estimación del máximo momento torsor

El momento torsor de la estructura forma debido a la acción conjunta del peso de la estructura al instante del giro de esta. Se calcula de la siguiente manera:

Figura 4.34

Distancia del eje de giro hacia el centro de masa de las partes de la estructura soporte de los espejos Fresnel



Fuente: Elaboración propia.

- Masa de la estructura rotatoria: 143 kg
- Distancia entre el eje de giro y el centro de gravedad de la estructura sin el eje de compensación: 428 mm
- Masa del tubo de compensación: 62 kg
- Distancia entre el eje de giro y el tubo (brazo de torque): 230 mm

$$\tau_{90^\circ} = ((143 - 62) \times 428 - 62 \times 230) \times 9.81 = 200,2 \text{ N.m}$$

4.3.3. Caso de estudio: Transmisión de potencia

4.3.3.1. Diseño del eje principal

Las especificaciones del diseño que se necesitan para el eje de torsión son las siguientes:

Torque máximo a 90°: 200,2 N.m

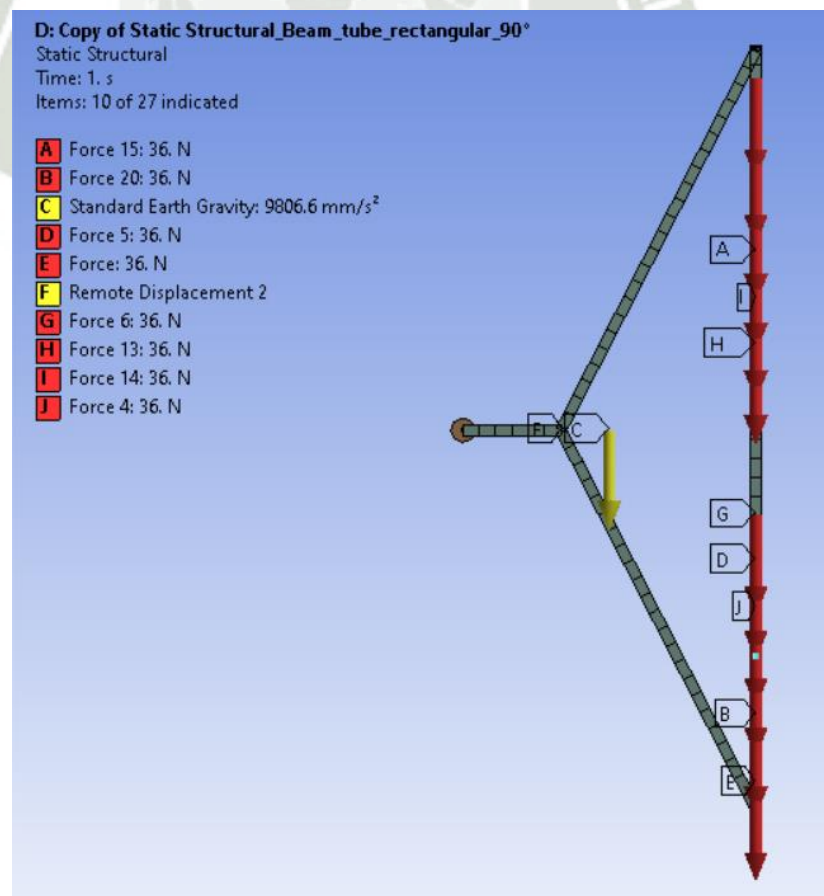
Velocidad de rotación: $16 \frac{deg}{h} = 16 \frac{deg (1h)(1 rev)}{h (60 min)(180 deg)} = 1.4815 \times 10^{-3} rpm$

Potencia: $P = T * \omega = 200 * 1.4815 \times 10^{-3} = 0.03 W$

Mediante el apoyo del software de diseño, se realizó una simulación en el caso del giro de la estructura de espejos a 90° para obtener las reacciones en máxima capacidad:

Figura 4.35

Condiciones de frontera de la simulación estructural



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7

Reacciones (Fuerza y momento) en los apoyos de la estructura

Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Probes

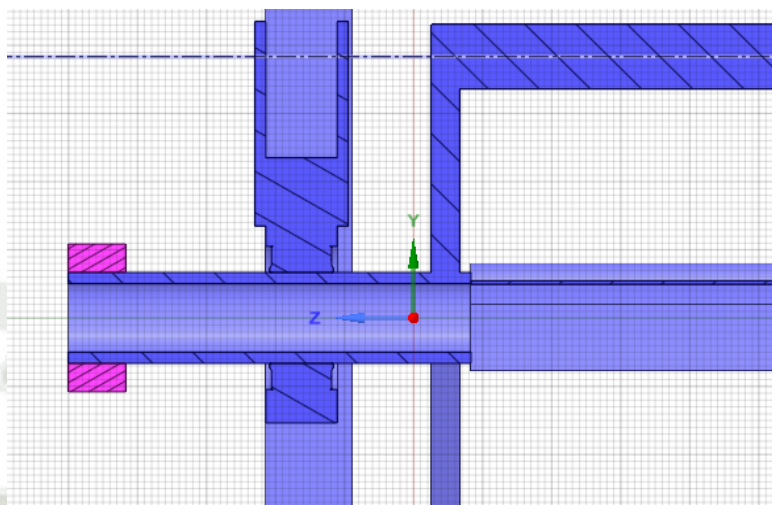
Object Name	All - Moment Reaction - Remote Displacement 2 - 1. s	All - Moment Reaction - Remote Displacement - 1. s	All - Force Reaction - Remote Displacement - 1. s	All - Force Reaction - Remote Displacement 2 - 1. s
State	Solved			
Definition				
Type	Moment Reaction		Force Reaction	
Location Method	Boundary Condition			
Boundary Condition	Remote Displacement 2	Remote Displacement		Remote Displacement 2
Orientation	Global Coordinate System			
Suppressed	No			
Options				
Result Selection	All			
Display Time	End Time			
Results				
X Axis	0. N-mm		855.17 N	
Y Axis	0. N-mm		-2.2087e-007 N	8.5208e-007 N
Z Axis	1.7429e+005 N-mm		-7.9507e-007 N	0. N
Total	1.7429e+005 N-mm		855.17 N	
Maximum Value Over Time				
X Axis	0. N-mm		855.17 N	
Y Axis	0. N-mm		-2.2087e-007 N	8.5208e-007 N
Z Axis	1.7429e+005 N-mm		-7.9507e-007 N	0. N
Total	1.7429e+005 N-mm		855.17 N	
Minimum Value Over Time				
X Axis	0. N-mm		855.17 N	
Y Axis	0. N-mm		-2.2087e-007 N	8.5208e-007 N
Z Axis	1.7429e+005 N-mm		-7.9507e-007 N	0. N
Total	1.7429e+005 N-mm		855.17 N	

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, podemos obtener un diagrama de cuerpo libre para el eje en cuestión:

Figura 4.36

Corte transversal del eje de torsión de la estructura de espejos

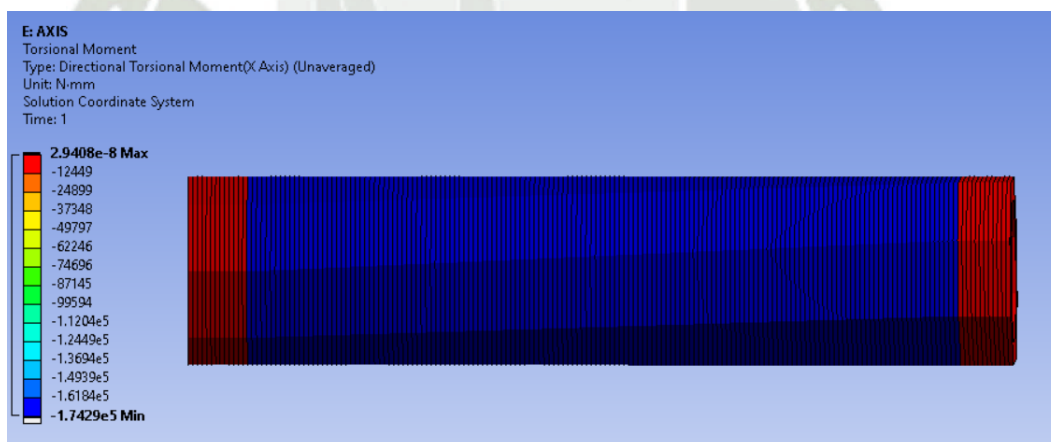


Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.1.1. Diagrama de momento torsor:

Figura 4.37

Diagrama del par de torsión para el eje de torsión

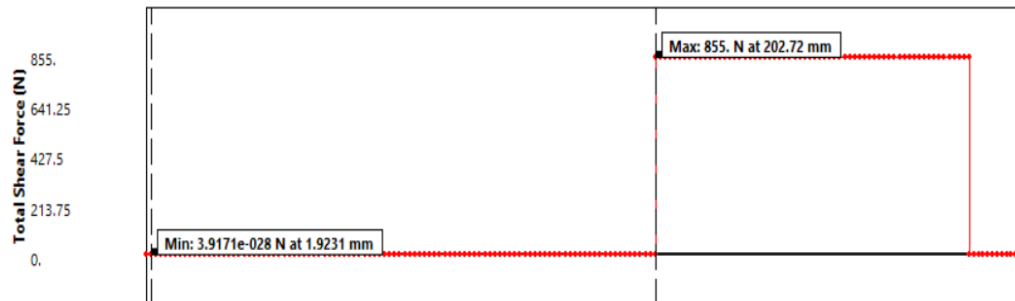


Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.1.2. Diagrama de fuerza cortante:

Figura 4.38

Diagrama del fuerza cortante para el eje de torsión

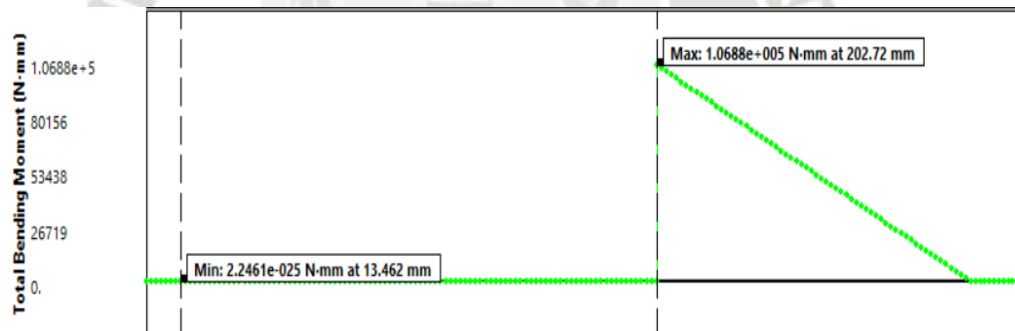


Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.1.3. Diagrama de momento flector:

Figura 4.39

Diagrama de momento flector para el eje de torsión



Fuente: Elaboración propia.

Para la elección del diámetro, escogemos un tubo regido por las siguientes especificaciones:

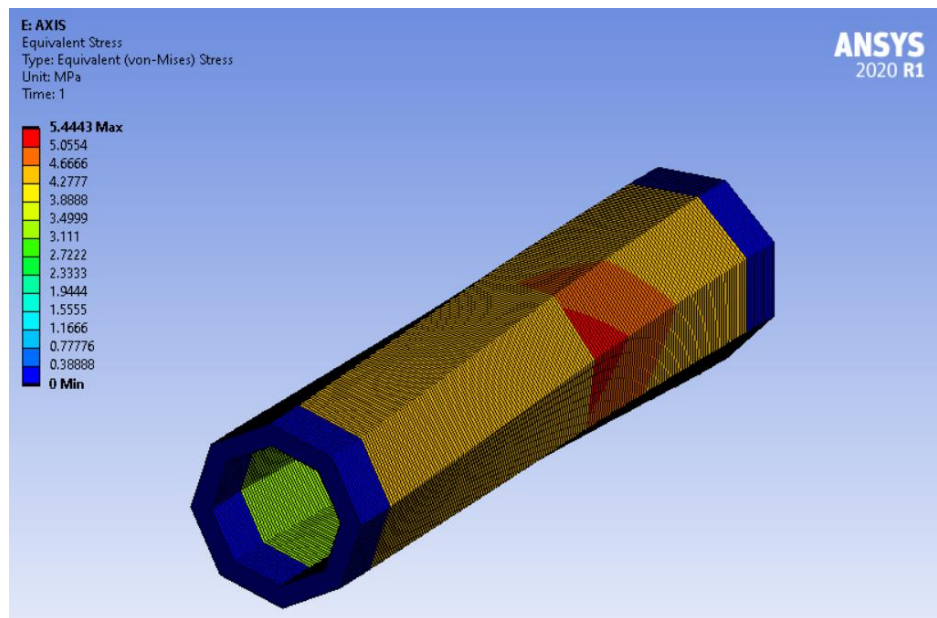
- Diámetro interno: Diámetro mayor de la tubería de acero inoxidable Sch 60: 60.3 mm
- Diámetro externo: Diámetro comercial de cojinete SKF: 80 mm

4.3.3.1.4. Esfuerzo equivalente:

Con ayuda de la simulación estructural, se tiene la siguiente distribución de esfuerzos:

Figura 4.40

Esfuerzos equivalentes en el eje de torsión



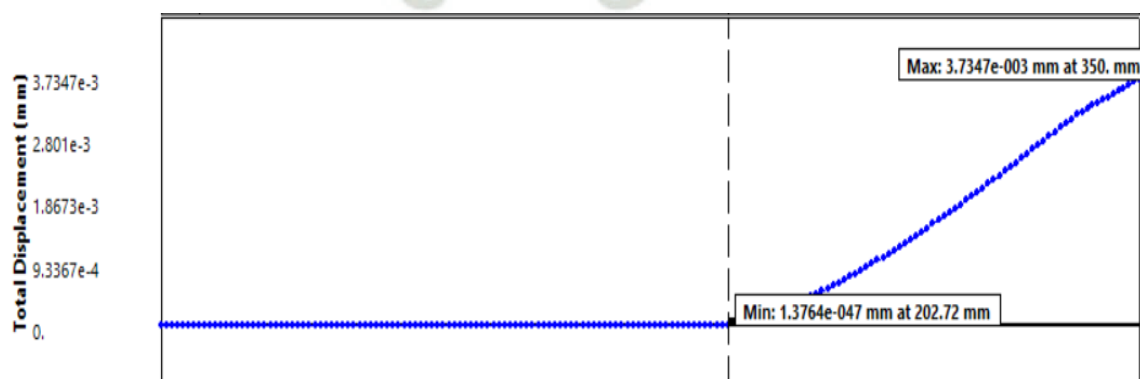
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.1.5. Deformación:

La deformación en el eje se obtuvo mediante la condición de rigidez máxima en el extremo de la conexión con el engrane:

Figura 4.41

Deformación de la línea media del eje de torsión



Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.1.6. Verificación de fatiga:

Este componente estructural tiene mayor atención por estar sometido a cargas de torsión periódicas y fluctuantes bajo el factor multiplicador a : $[-1 ; 1]$ (compresión y flexión).

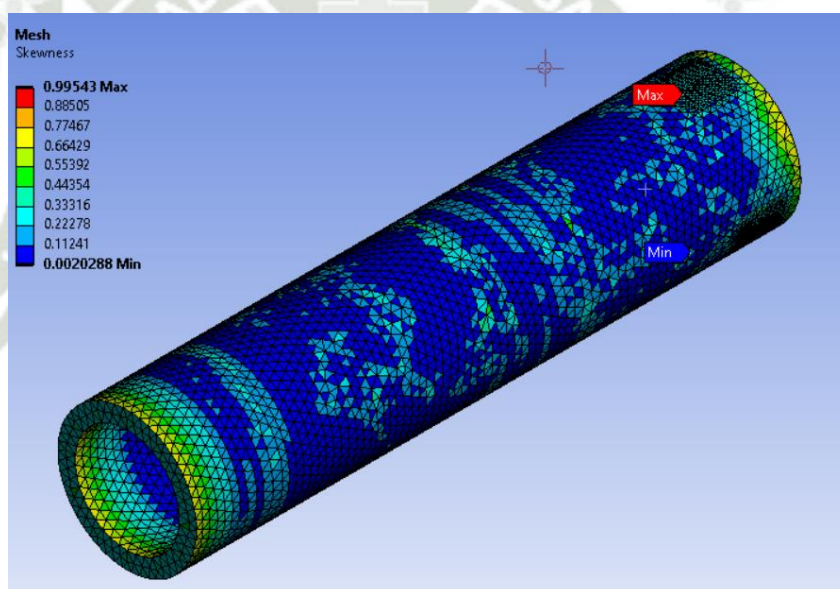
La simulación realizada se centró en los efectos locales de las fuerzas desarrolladas por la soldadura, obteniéndose los siguientes datos:

a) Discretización del modelo:

Figura 4.42

Discretización del modelo con énfasis en la unión con la estructura del reflector

Fresnel

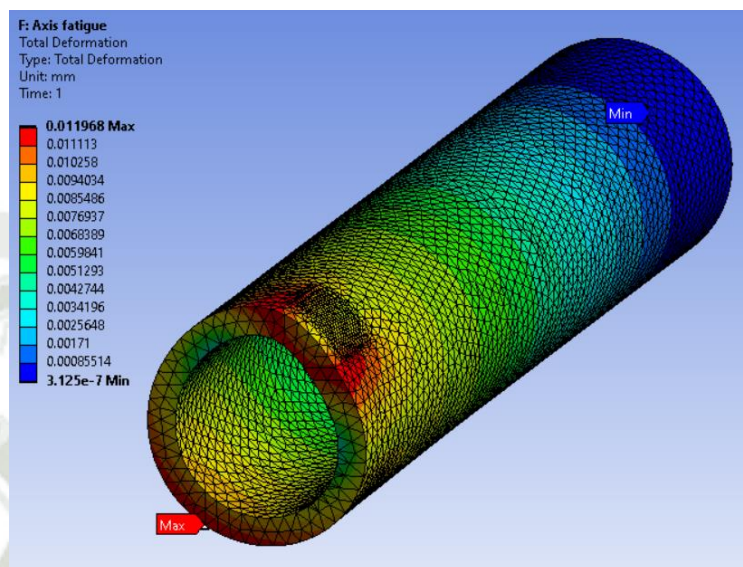


Fuente: Elaboración propia.

b) Deformación

Figura 4.43

Deformación durante el análisis de fatiga (Escala 400:1)

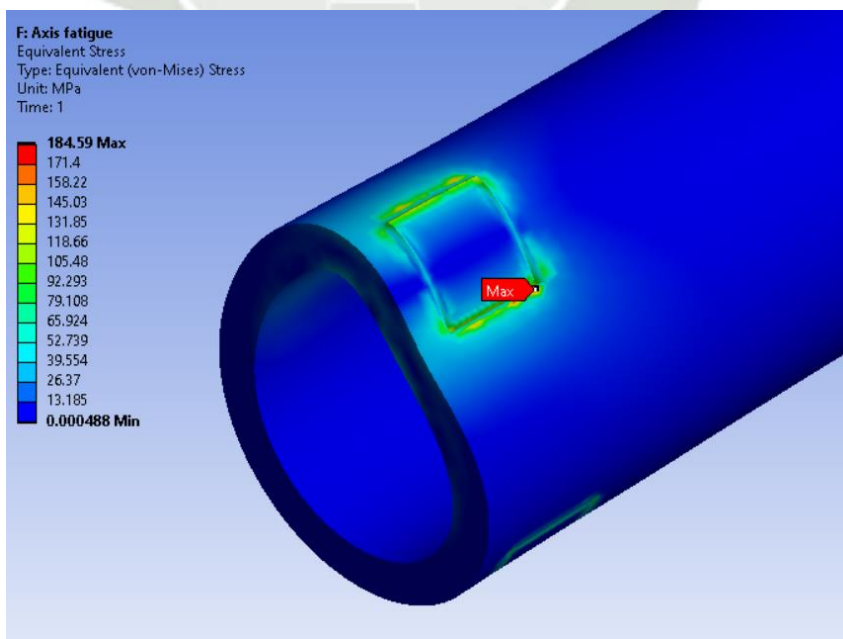


Fuente: Elaboración propia.

c) Esfuerzo equivalente (Von misses)

Figura 4.44

Esfuerzo equivalente durante el análisis de fatiga (Escala 770:1)

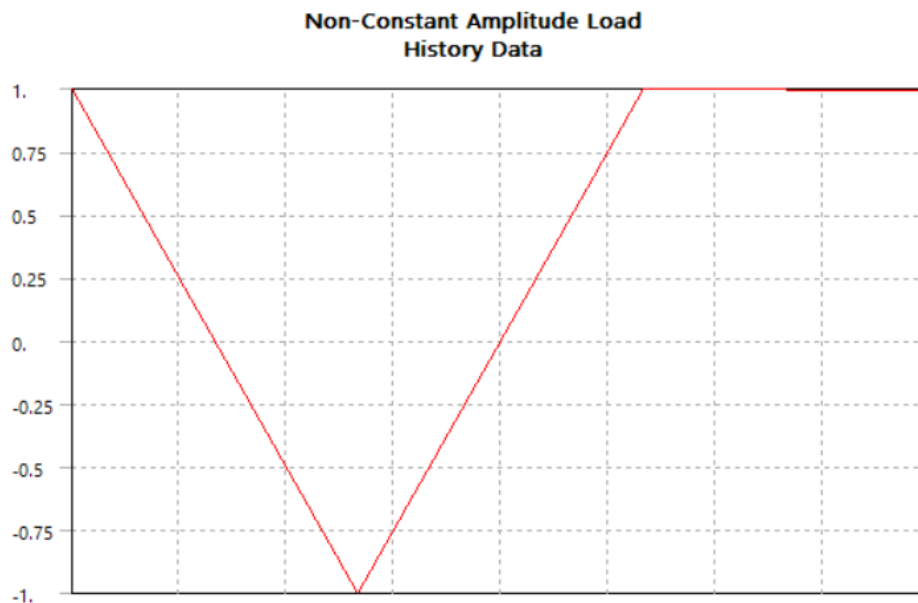


Fuente: Elaboración propia.

d) Enfoque Estrés-Vida

“El enfoque de vida útil (o enfoque de Wohler) utiliza un diagrama logarítmico de esfuerzo versus ciclos hasta la falla para mostrar los datos de las propiedades de fatiga” (Bannantine y otros, 1990).

Figura 4.45 Factor de repetición de carga sometida en el eje



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8

Coordenadas de la amplitud y constante de la resistencia, e intersecciones importantes en el primer cuadrante de los criterios de falla de Goodman modificado y de Langer.

Intersecciones de ecuaciones	Coordenadas de la intersección
$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$ Línea de carga $r = \frac{S_a}{S_m}$	$S_a = \frac{r S_e S_{ut}}{r S_{ut} + S_e}$ $S_m = \frac{S_a}{r}$
$\frac{S_a}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$ Línea de carga $r = \frac{S_a}{S_m}$	$S_a = \frac{r S_y}{1 + r}$ $S_m = \frac{S_y}{1 + r}$
$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$ $\frac{S_a}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$	$S_m = \frac{(S_y - S_e) S_{ut}}{S_{ut} - S_e}$ $S_a = S_y - S_m, r_{crít} = S_a/S_m$

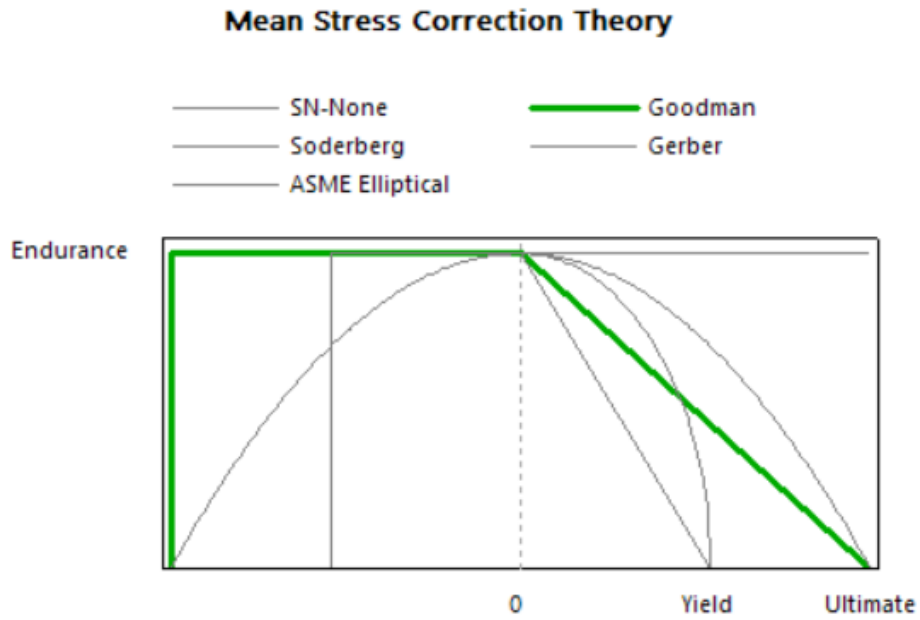
Factor de seguridad de fatiga

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

Fuente: Budynas & Nisbett, (2008)

Figura 4.46

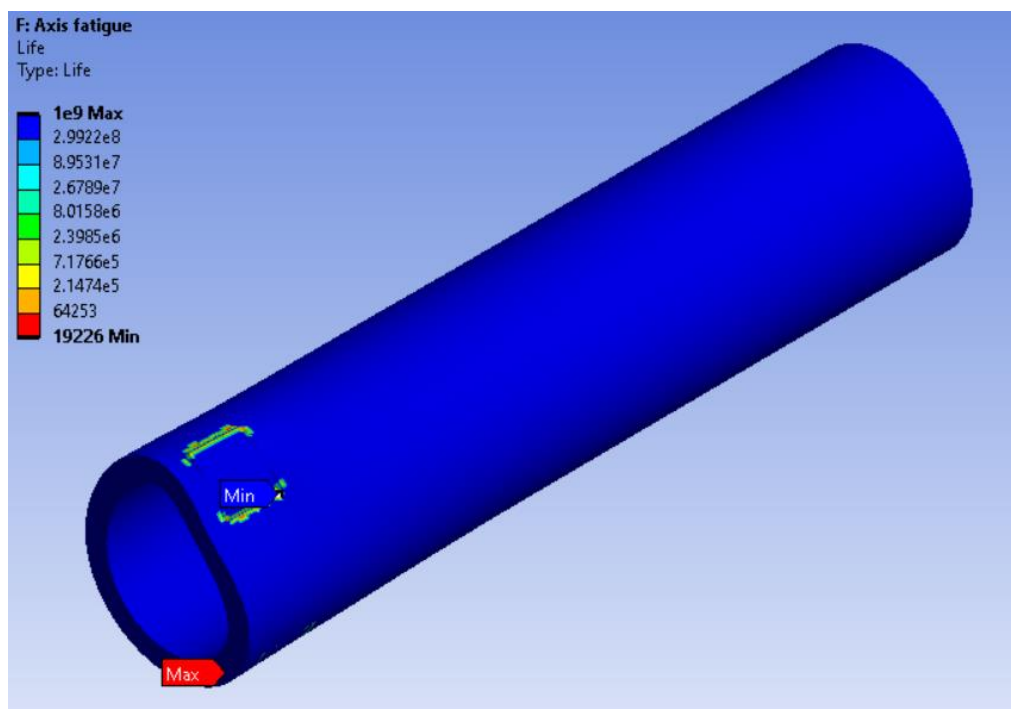
Diagrama de fatiga bajo la teoría del esfuerzo medio según Goodman para el eje de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.47

Análisis de fatiga por vida para el eje de torsión



Fuente: Elaboración propia.

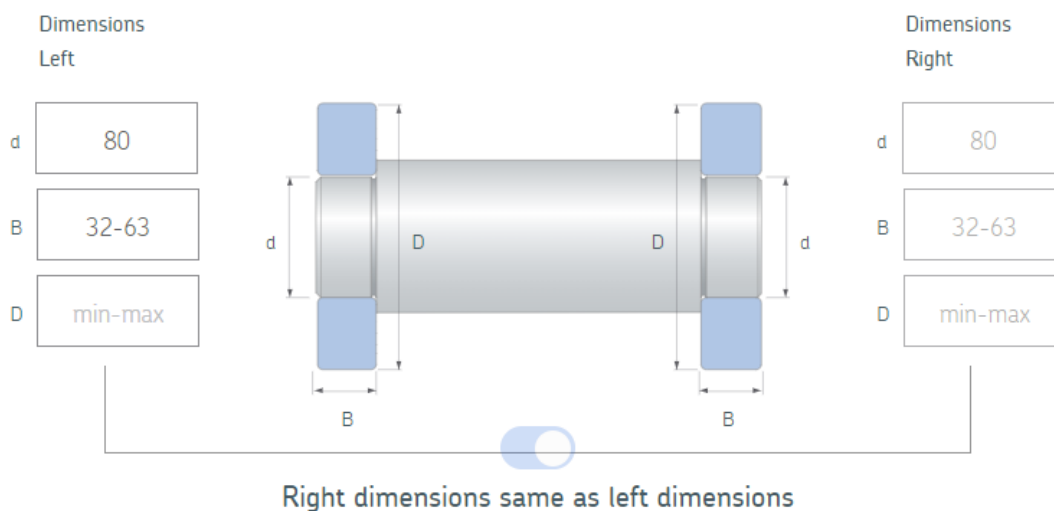
- ❖ Número de ciclos hasta la fractura: 19226 revoluciones.

4.3.3.2. Selección del rodamiento

La disposición básica del eje de rotación tendrá la siguiente disposición:

Figura 4.48

Datos de entrada para la selección de rodamiento SKF

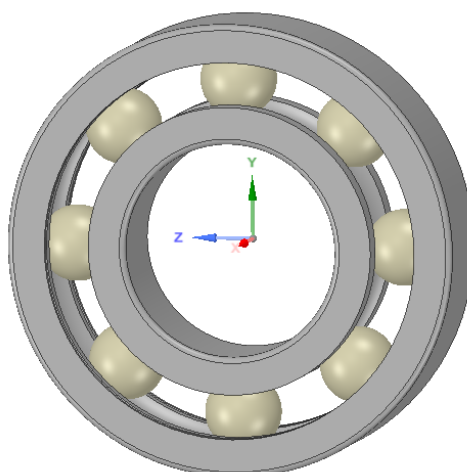


Fuente: Elaboración propia.

Con las especificaciones técnicas de la figura anterior, se tiene el siguiente rodamiento seleccionado, al cual se le realizará un estudio de selección:

Figura 4.49

Rodamiento rígido de una hilera de bolas SKF INSOCOAT 6316/C3VL0241

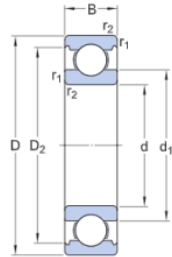


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.50

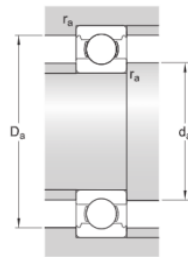
**Especificaciones técnicas de rodamiento rígido de una hilera de bolas SKF
INSOCOAT 6316/C3VL0241**

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	80 mm	Diámetro del agujero
D	170 mm	Diámetro exterior
B	39 mm	Ancho
d ₁	≈ 108 mm	Diámetro del resalte del aro interior
D ₂	≈ 149 mm	Diámetro del rebaje del resalte del aro exterior
r _{1,2}	min. 2.1 mm	Dimensión del chaflán



DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d _e	min. 92 mm	Diámetro del resalte del eje
D	min. 154 mm	Diámetro del resalte del eje
D _s	max. 158 mm	Diámetro del resalte del soporte
r _a	max. 2 mm	Radio de acuerdo

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.51

**Datos de cálculo de rodamiento rígido de una hilera de bolas SKF INSOCOAT
6316/C3VL0241**

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	130 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	86.5 kN
Carga límite de fatiga	P _u	3.25 kN
Velocidad de referencia		8 500 r/min
Velocidad límite		5 300 r/min
Factor de cálculo	k _r	0.03
Factor de cálculo	f ₀	13.3

MASA

Masa de rodamiento	3.55 kg
--------------------	---------

Fuente: Elaboración propia.

Del diagrama de cuerpo libre realizado anteriormente:

$$R_a = 956 \text{ N} \quad ; \quad R_b = 956 \text{ N}$$

Corrección de cargas en eventos extremos (100%):

$$R_a = 1.47 \text{ KN} \quad ; \quad R_b = 1.47 \text{ KN}$$

Para una velocidad de giro brusca luego de terminado el proceso de captación solar de 100 rpm, se tiene un valor de vida de diseño acorde a lo obtenido por el estudio de fatiga de 19926 revoluciones, se espera un tiempo de funcionamiento de 20.000 horas para el rodamiento.

Duración nominal:

$$L = 60 \times 10^{-6} \times 100 \times 20000 = 120 \text{ millones de revoluciones}$$

Relación entre la duración nominal y la capacidad de carga con la carga aplicada al rodamiento:

$$\frac{C}{P} = L^{\frac{1}{p}}$$

Donde:

- C = capacidad de carga dinámica
- P = carga dinámica equivalente
- p = exponente SKF (3)

$$\frac{C}{P} = L^{\frac{1}{p}} = (120)^{\frac{1}{3}} = 4.932$$

Relación de carga axial y radial: menor a 0.001 (fuerza axial despreciable)

Carga dinámica equivalente: Fuerza radial = 1.47 KN

Capacidad dinámica requerida: $C = 1.47 \times 4.932 = 7.25$ KN

De las tablas de selección de SKF:

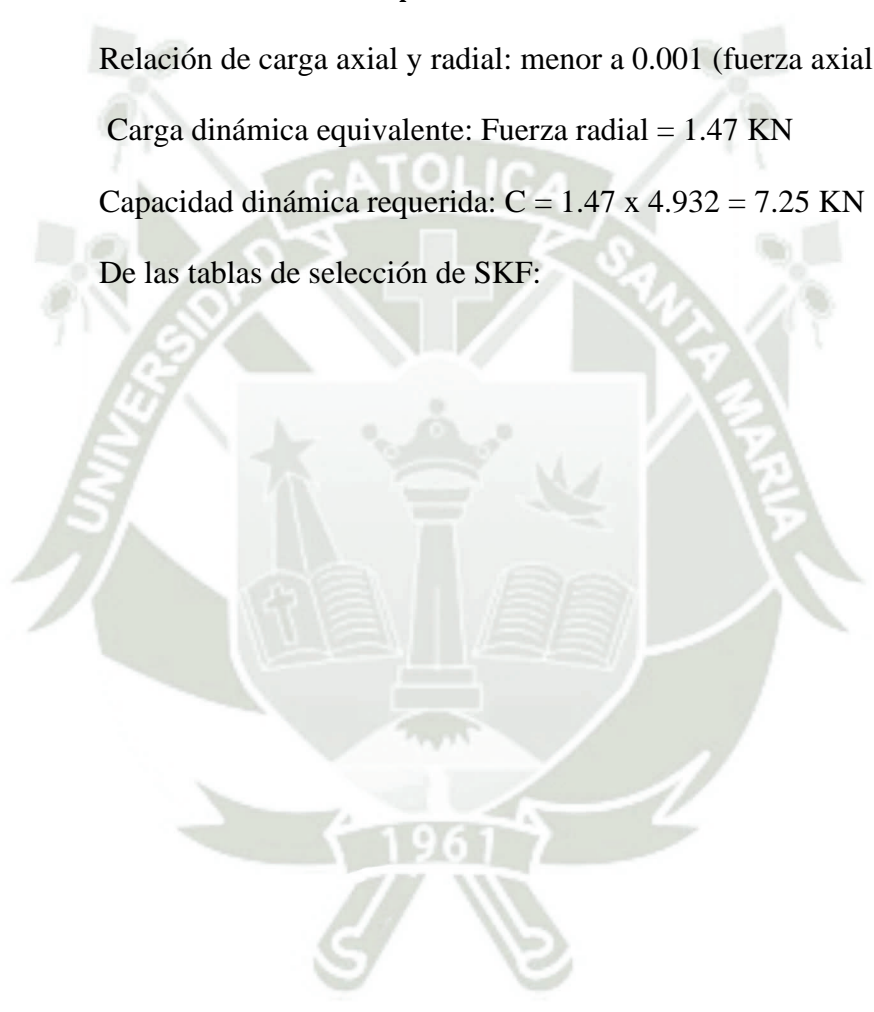


Tabla 4.9

Tabla de selección de rodamientos SKF (65 - 85 mm)

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades	Velocidad	Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	-
65	85	10	12,4	12,7	0,54	16 000	10 000	0,13	61813
	90	13	17,4	16	0,68	15 000	9 500	0,22	61913
	100	11	22,5	16,6	0,83	14 000	9 000	0,30	*16013
	100	18	31,9	25	1,06	14 000	9 000	0,44	*6013
	120	23	58,5	40,5	1,73	12 000	7 500	0,99	*6213
	140	33	97,5	60	2,5	10 000	6 700	2,10	*6313
	160	37	119	78	3,15	9 500	6 000	3,30	6413
70	90	10	12,4	13,2	0,56	15 000	9 000	0,14	61814
	100	16	23,8	21,2	0,9	14 000	8 500	0,35	61914
	110	13	29,1	25	1,06	13 000	8 000	0,43	*16014
	110	20	39,7	31	1,32	13 000	8 000	0,60	*6014
	125	24	63,7	45	1,9	11 000	7 000	1,05	*6214
	150	35	111	68	2,75	9 500	6 300	2,50	*6314
	180	42	143	104	3,9	8 500	5 300	4,85	6414
75	95	10	12,7	14,3	0,61	14 000	8 500	0,15	61815
	105	16	24,2	19,3	0,965	13 000	8 000	0,37	61915
	110	12	28,6	27	1,14	13 000	8 000	0,38	16115
	115	13	30,2	27	1,14	12 000	7 500	0,46	*16015
	115	20	41,6	33,5	1,43	12 000	7 500	0,64	*6015
	130	25	68,9	49	2,04	10 000	6 700	1,20	*6215
	160	37	119	76,5	3	9 000	5 600	3,00	*6315
190	45	153	114	4,15	8 000	5 000	6,80	6415	
80	100	10	13	15	0,64	13 000	8 000	0,15	61816
	110	16	25,1	20,4	1,02	12 000	7 500	0,40	61916
	125	14	35,1	31,5	1,32	11 000	7 000	0,60	*16016
	125	22	49,4	40	1,66	11 000	7 000	0,85	*6016
	140	26	72,8	55	2,2	9 500	6 000	1,40	*6216
	170	39	130	86,5	3,25	8 500	5 300	3,60	*6316
	200	48	163	125	4,5	7 500	4 800	8,00	6416
85	110	13	19,5	20,8	0,88	12 000	7 500	0,27	61817
	120	18	31,9	30	1,25	11 000	7 000	0,55	61917
	130	14	35,8	33,5	1,37	11 000	6 700	0,63	*16017
	130	22	52	43	1,76	11 000	6 700	0,89	*6017
	150	28	87,1	64	2,5	9 000	5 600	1,80	*6217
	180	41	140	96,5	3,55	8 000	5 000	4,25	*6317
	210	52	174	137	4,75	7 000	4 500	9,50	6417

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, nuestro rodamiento escogido, cumple con los requisitos dinámicos de funcionamiento.

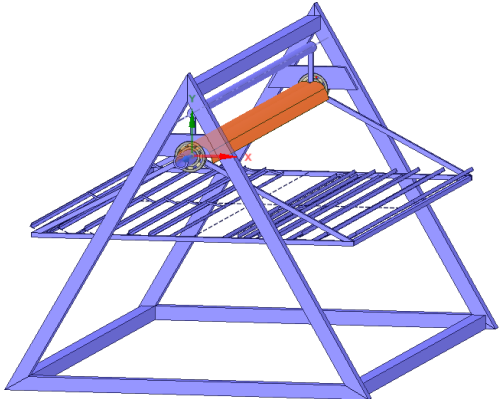
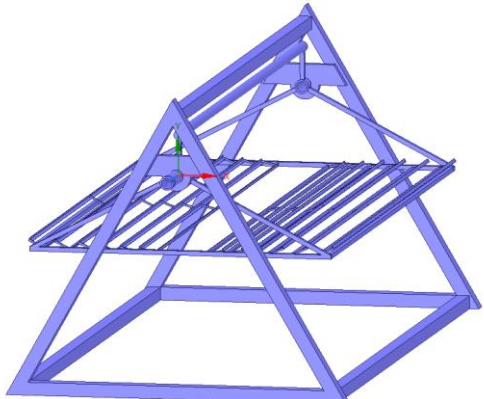
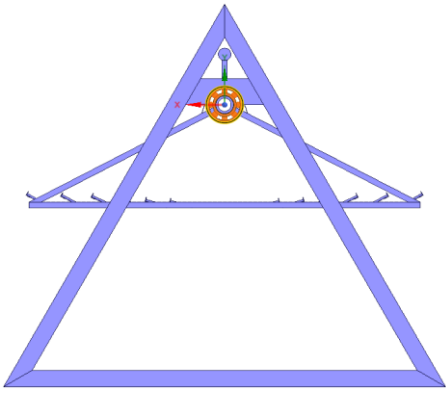
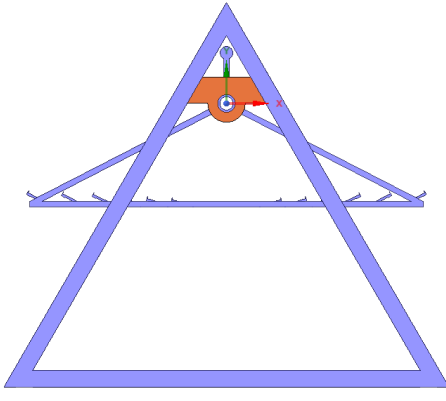
4.4. Simulación estructural del modelo final

4.4.1. Discretización del modelo

El modelo estructural del reflector lineal Fresnel, al contener zonas de detalle, es necesario simplificar su geometría para realizar una correcta simulación sin perder esfuerzos en tiempo y recursos.

Para lograr una correcta simulación, se realizaron las siguientes modificaciones al modelo:

Tabla 4.10 Simplificaciones realizadas para la simulación estructural

Modelo original	Modelo final (equivalente en simulación)
<p data-bbox="424 786 620 819">Elemento CPC</p> 	<p data-bbox="948 786 1273 819">Elemento CPC: suprimir</p> 
<p data-bbox="341 1375 703 1408">Rodamiento rígido de bolas</p> 	<p data-bbox="847 1375 1374 1408">Rodamiento equivalente unido a la placa</p> 

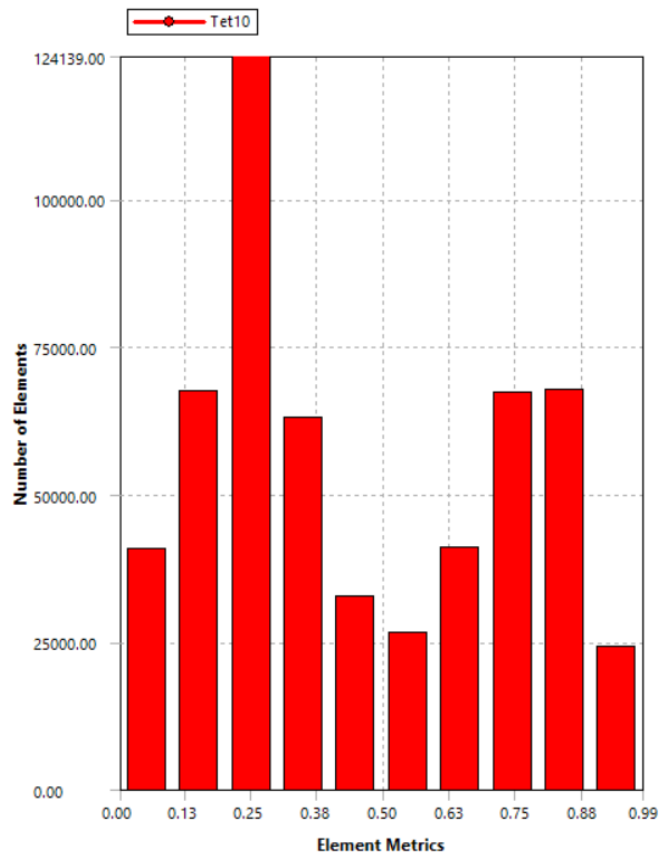
Fuente: Elaboración propia.

Se usaron los siguientes indicadores para validar el modelo en elementos finitos:

Calidad ortogonal: Referido a que tan cerca están los ángulos normales de cada elemento de la malla respecto a un ángulo ideal. Los valores óptimos tienden a 1.

Figura 4.52

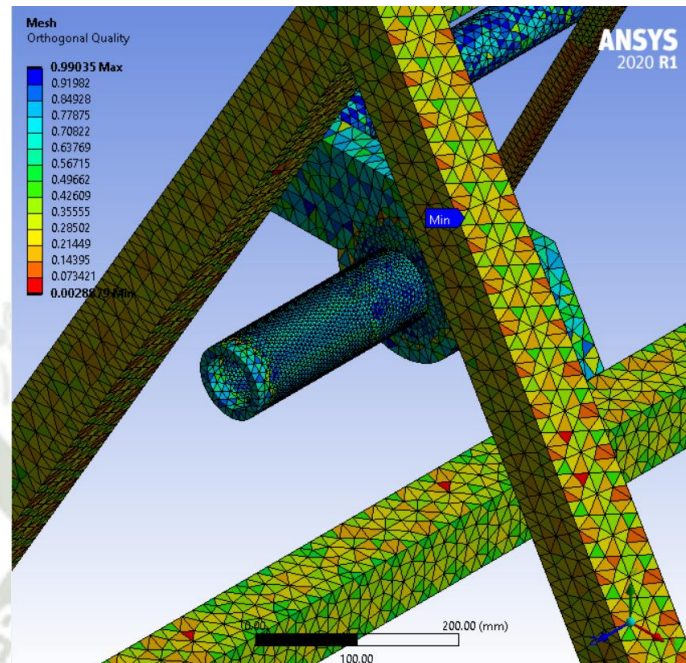
Indicador del enmallado: Calidad ortogonal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.53

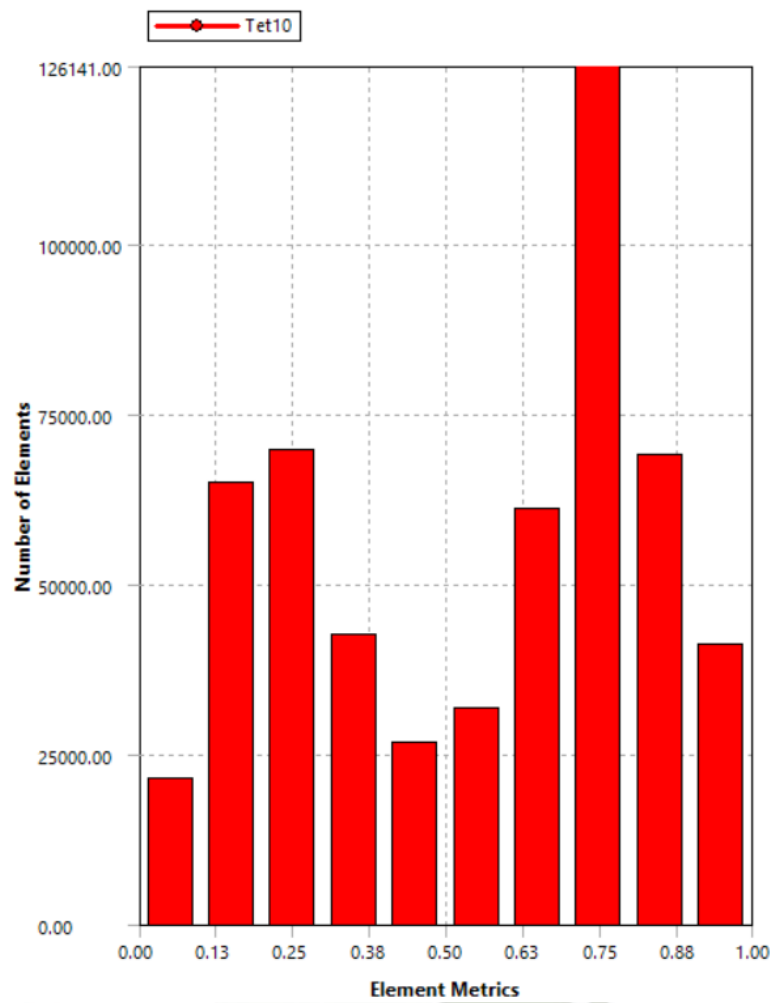
Indicador gráfico del enmallado: Calidad ortogonal



Fuente: Elaboración propia.

Skewness: Referido a la calidad del enmallado, haciendo referencia a la asimetría del modelo. Los valores óptimos tienden a 0. El rango para simulaciones estructurales es de 0,5.

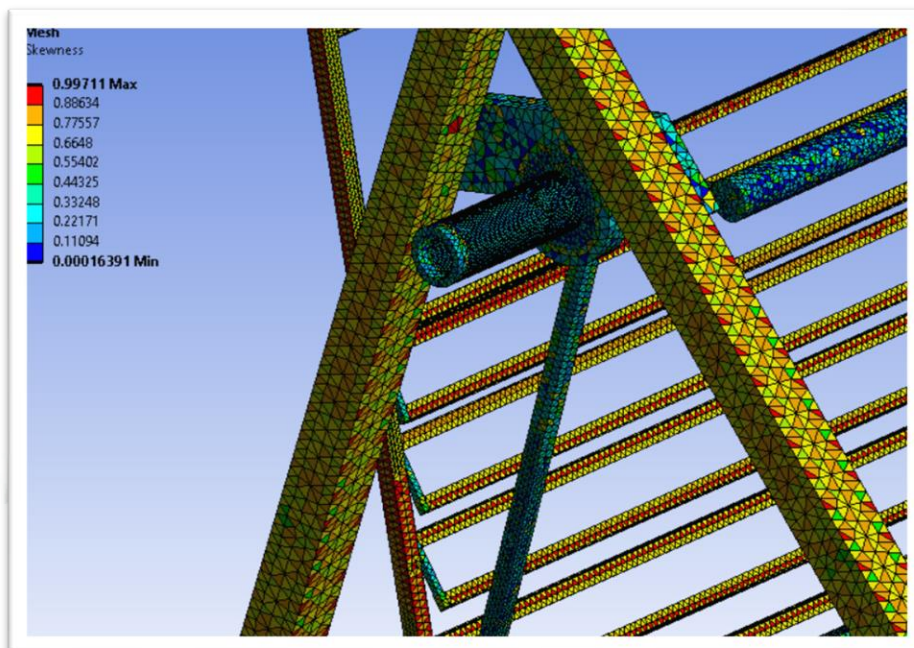
Figura 4.54
Indicador del enmallado: Skewness



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.55

Indicador gráfico del enmallado: Skewness



Fuente: Elaboración propia.

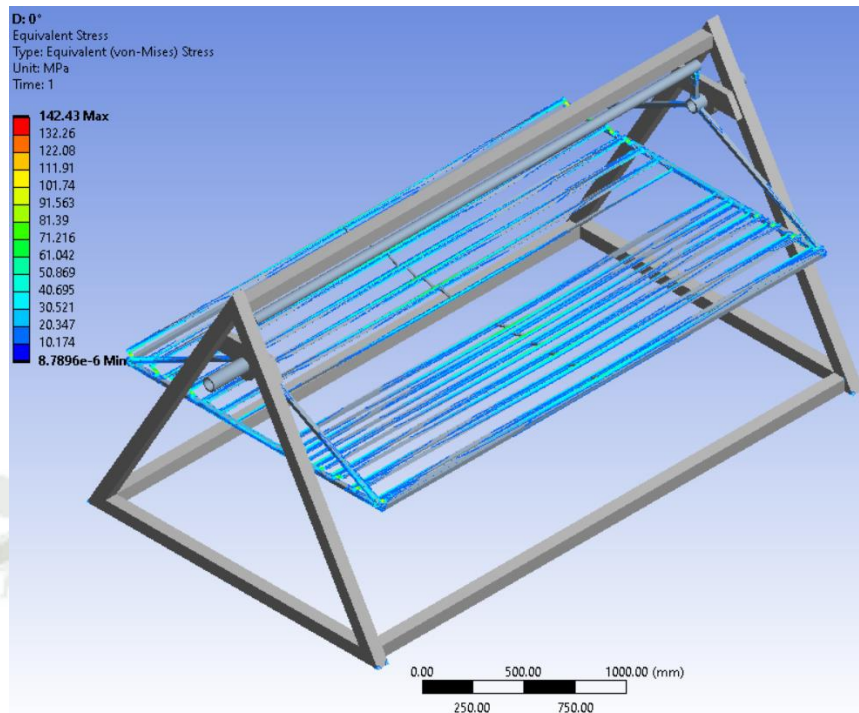
4.4.2. Caso de estudio: Giro nulo (0°)

4.4.2.1. Esfuerzo equivalente von-Mises (σ , MPa)

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 4.56

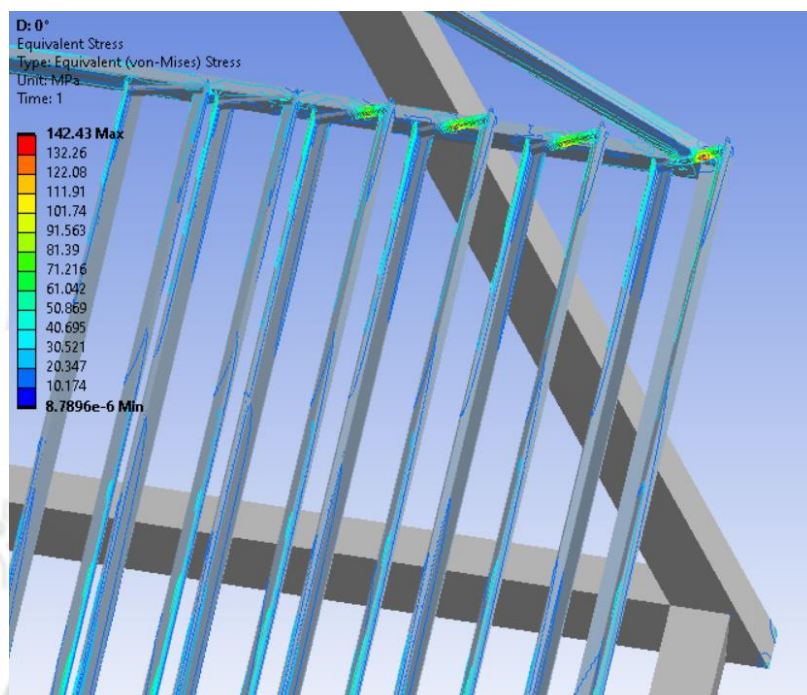
Isolíneas de esfuerzo equivalente en la estructura Fresnel



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.57

Detalle del esfuerzo equivalente en la zona crítica de análisis

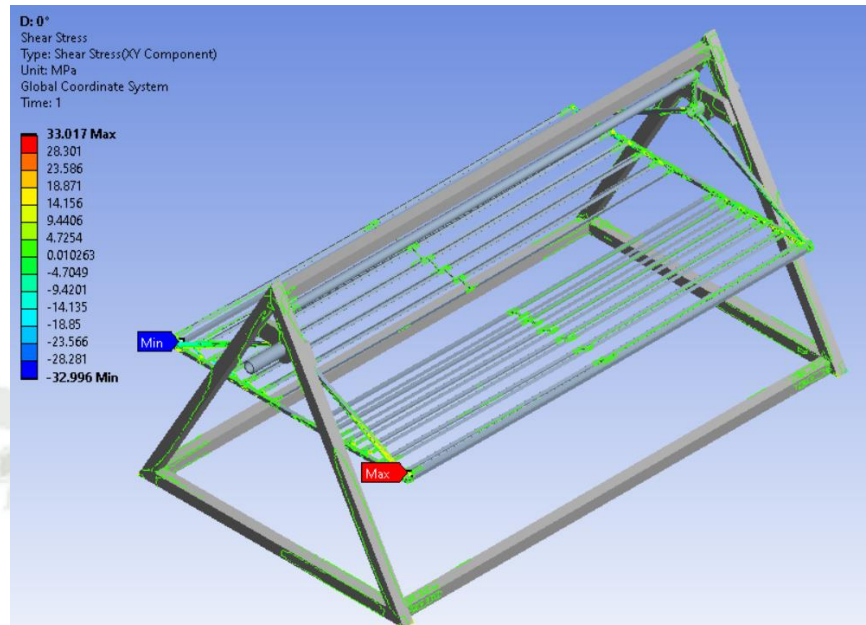


Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.2. Esfuerzo cortante (τ , Mpa)

Se obtuvieron los siguientes resultados:

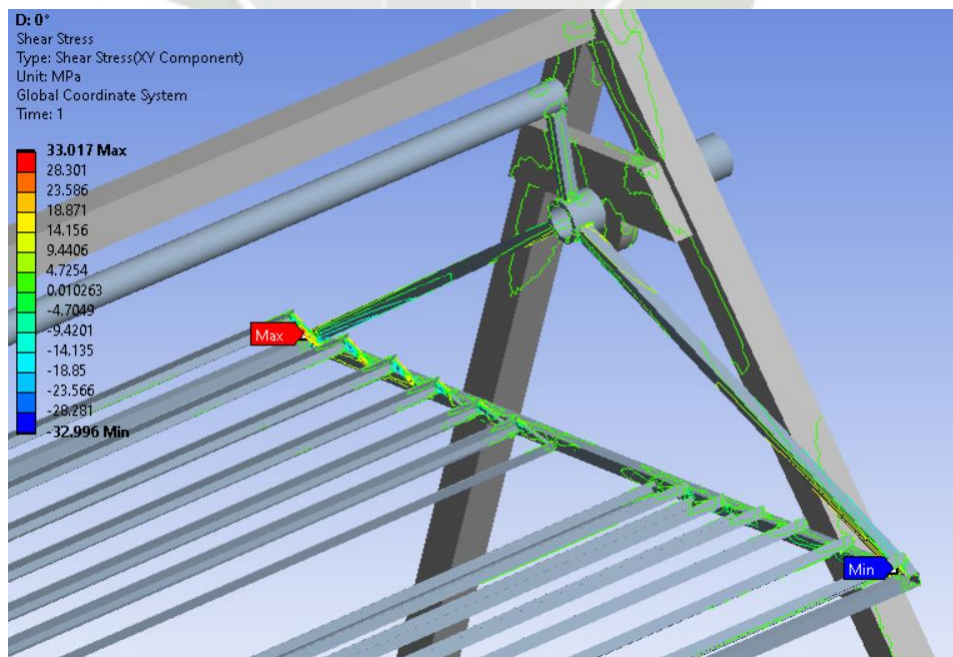
Figura 4.58 Esfuerzos de corte en la estructura Fresnel



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.59

Detalle de esfuerzo de corte en la estructura soldada



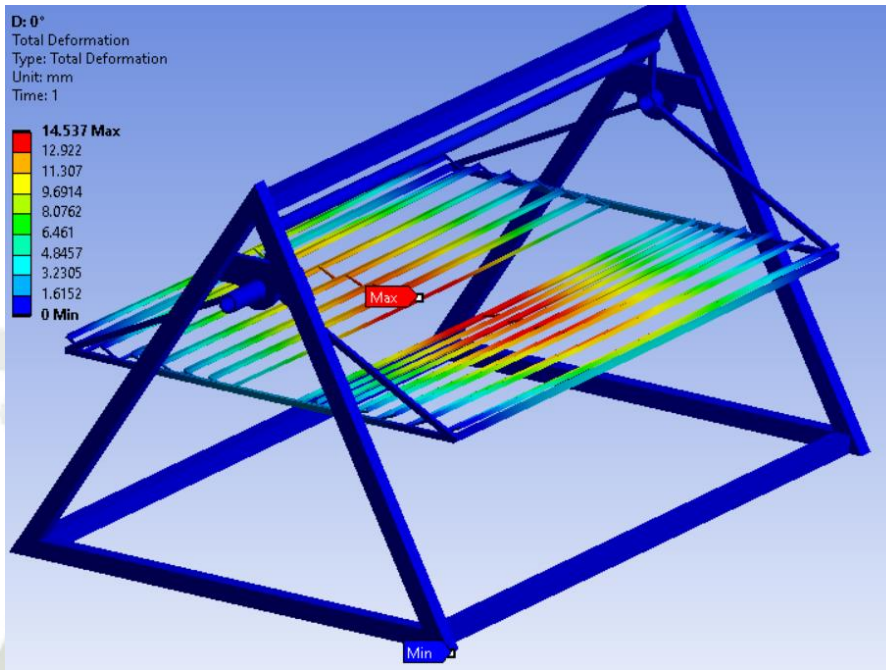
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.3. Deformación (mm)

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 4.60

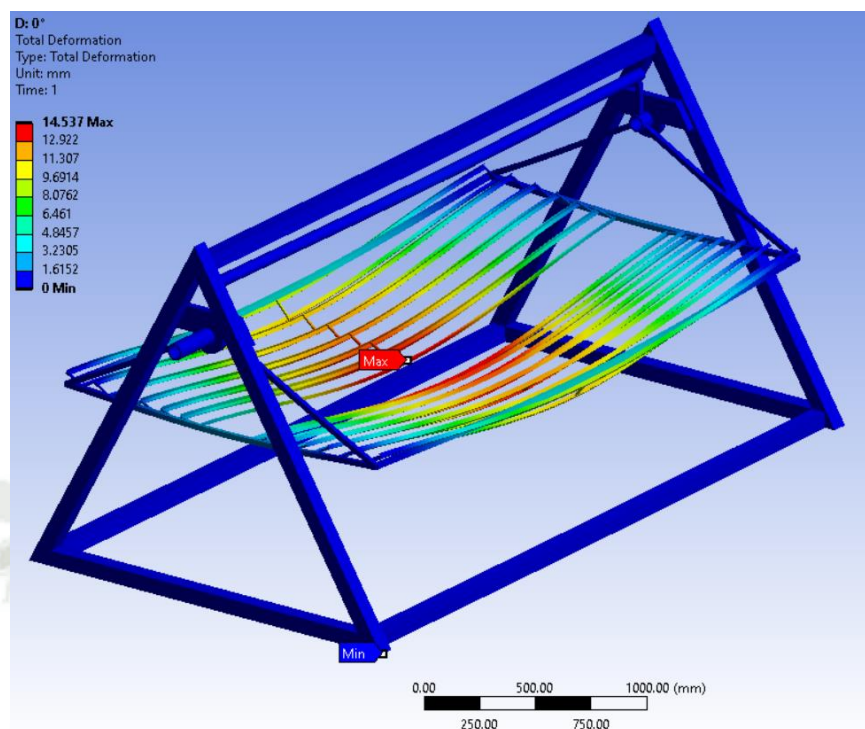
Deformación general de la estructura (Escala 1:1)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.61

Deformación máxima en la estructura (Escala 16:1)



Fuente: Elaboración propia.

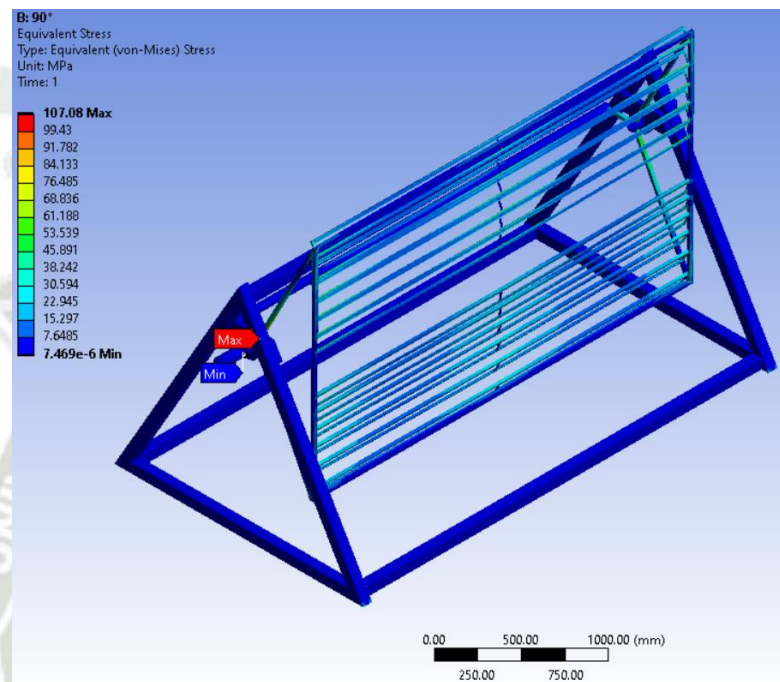
4.4.3. Caso de estudio: Giro máximo (90°)

4.4.3.1. Esfuerzo equivalente von-Mises (σ , MPa)

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 4.62

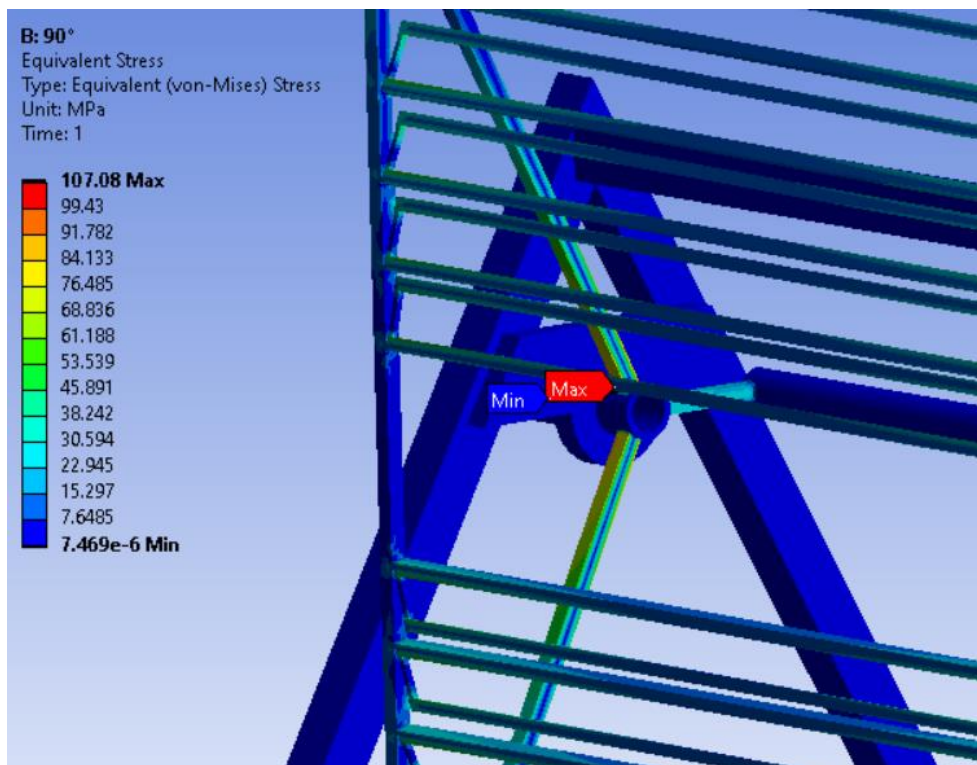
Esfuerzo equivalente en la estructura Fresnel. Giro máximo (90°)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.63

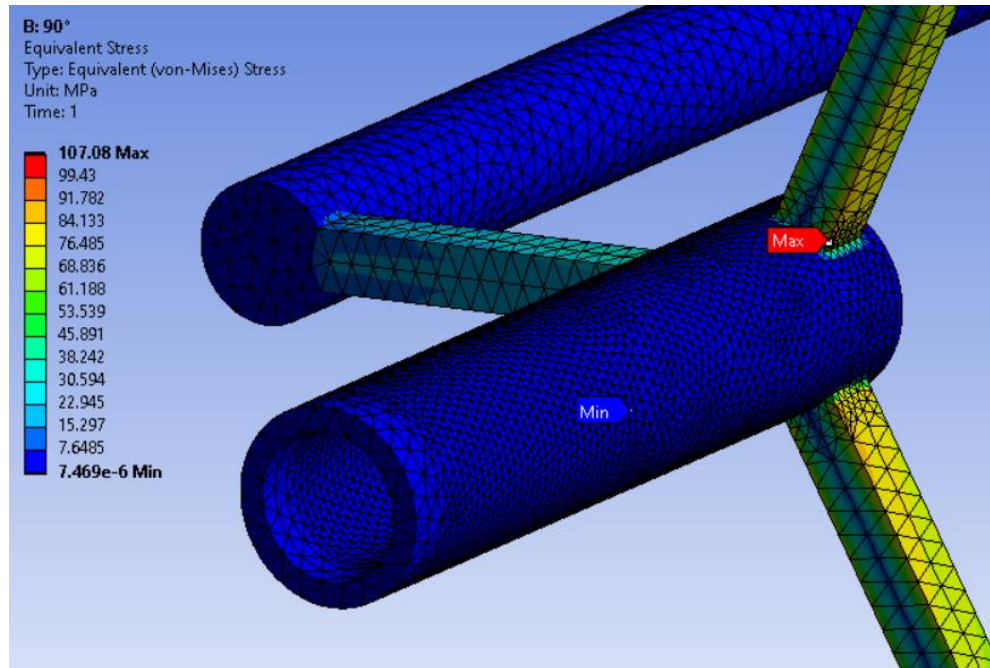
Detalle del esfuerzo equivalente en la zona crítica de análisis. Giro máximo (90°)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.64

Esfuerzos equivalentes máximos en la unión de los perfiles de soporte y el eje de torsión. Giro máximo (90°)



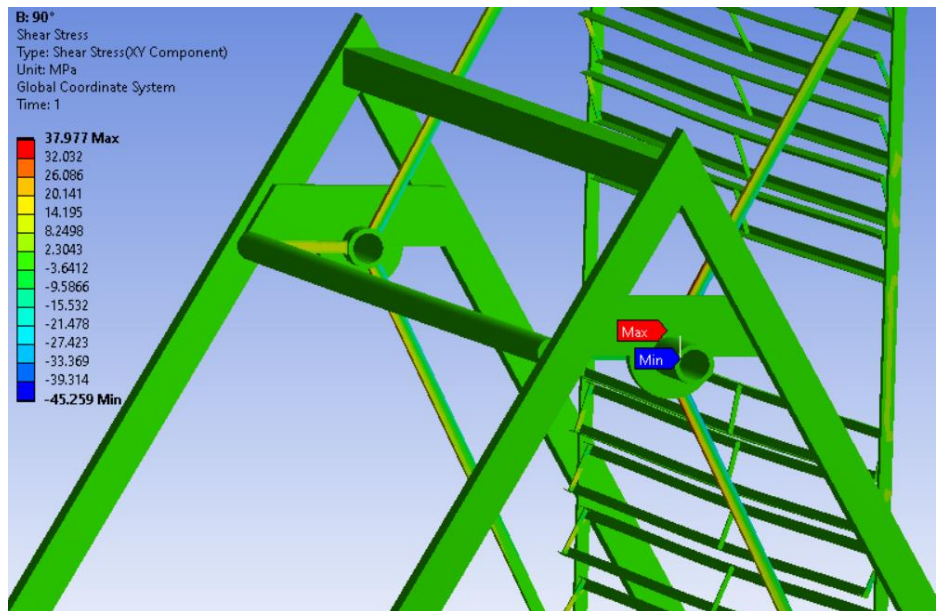
Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.2. Esfuerzo cortante (τ , Mpa)

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 4.65

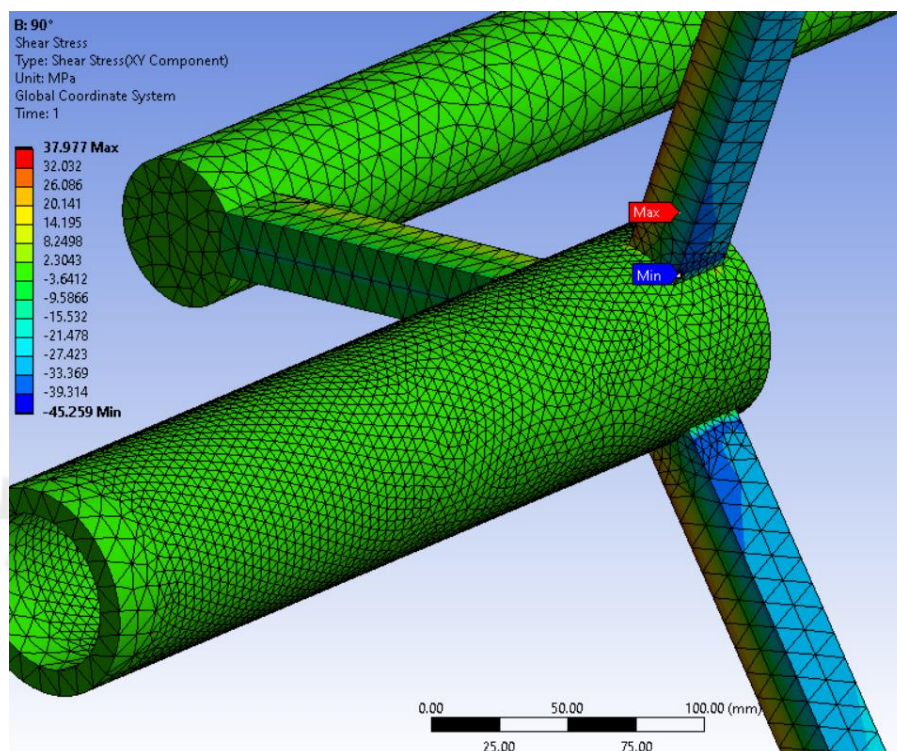
Esfuerzos de corte en la estructura Fresnel. Giro máximo (90°)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.66

Detalle de esfuerzo de corte en la estructura soldada. Giro máximo (90°)



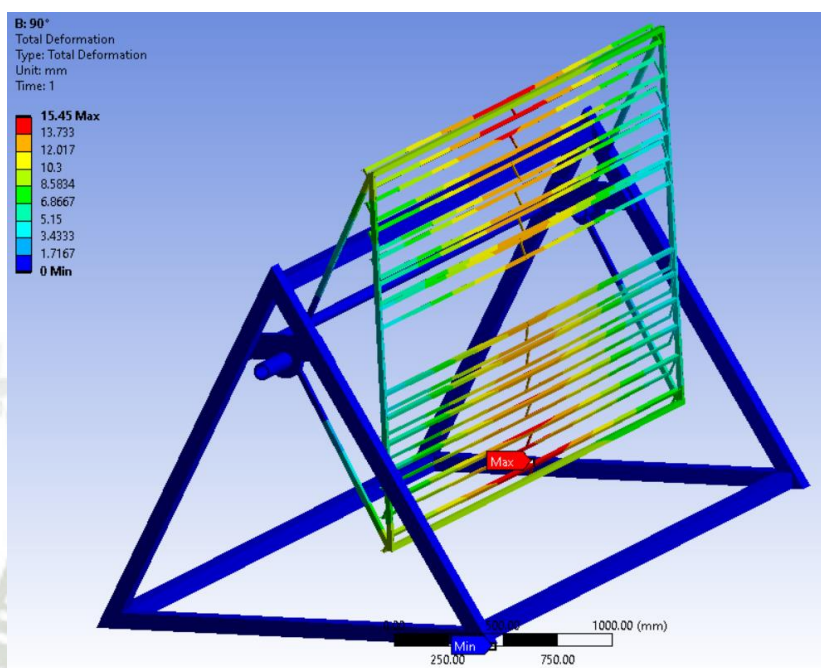
Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.3. Deformación (mm)

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 4.67

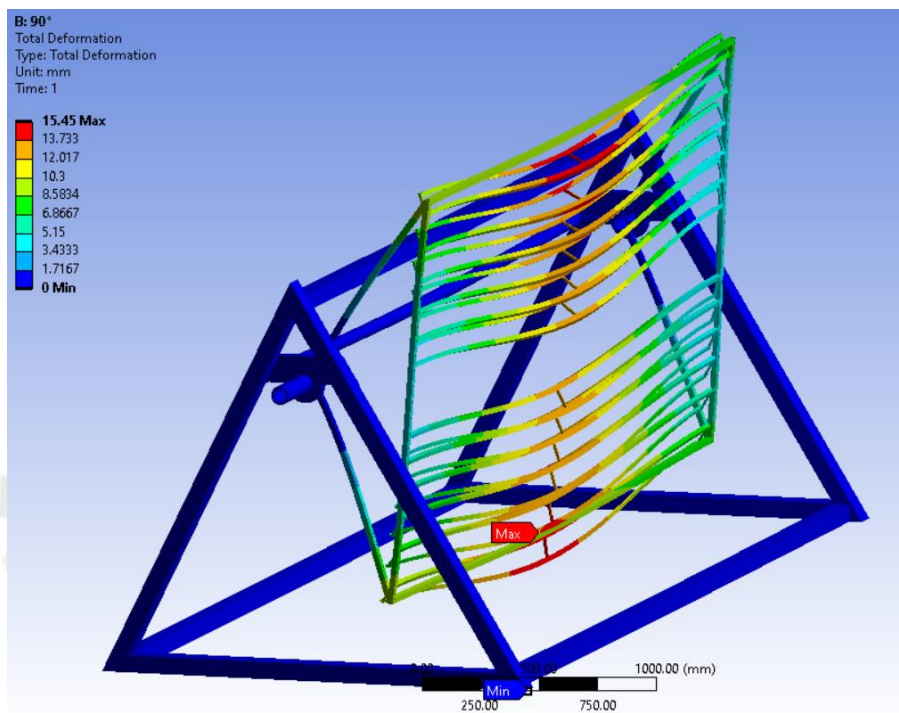
Deformación general de la estructura (Escala 1:1). Giro máximo (90°)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.68

Deformación máxima en la estructura (Escala 17:1). Giro máximo (90°)



Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Diseño de las uniones de la estructura

Las uniones por soldadura entre miembros de la estructura han sido definidas por las siguientes recomendaciones de diseño:

- Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de acero
- Conexiones soldadas (DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO; JACK C. McCORMAC, STEPHEN F. CSERNAK)
- Según la Especificación 1.3.1 del AWS, el tipo de soldadura utilizado será manual, SMAW.
- La especificación para la unión de los perfiles descritos será del tipo filete. (McCormac & Csernak, 2013)

Figura 4.69

Soldadura de filete en el soporte de espejos



Fuente: Elaboración propia.

- Material de aporte compatible: Electrodo E60xx

Tabla 4.11
Material de aporte

Metal Base	Metal de Aporte Compatible
A36, espesor \leq 19 mm	Electrodos E60 & E70
A36, espesor $>$ 19 mm	SMAW: E7015, E7016, E7018, E7028
A588*	Otros procesos: Electrodo E70
A1011	
A913 (Gr.60&65)	Electrodos E80

*Para resistencia a la corrosión y color similar a la base ver la Sección 3.7.3 de AWS D1.1.

Notas:

1. Los metales de aporte deben cumplir con los requisitos de los Artículos A5.1, A5.5, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23, A5.28, y A5.29 de AWS.
2. En juntas con metales base de diferente resistencia se debe utilizar cualquiera de los metales de aporte compatibles con la mayor resistencia del metal base o un metal de aporte compatible con la menor resistencia y produzca un pequeño depósito de hidrógeno.

Fuente: McCormac & Csernak, (2013).

4.4.4.1. Unión por soldadura en el soporte de espejos

- Tamaño mínimo de la soldadura: 3 mm

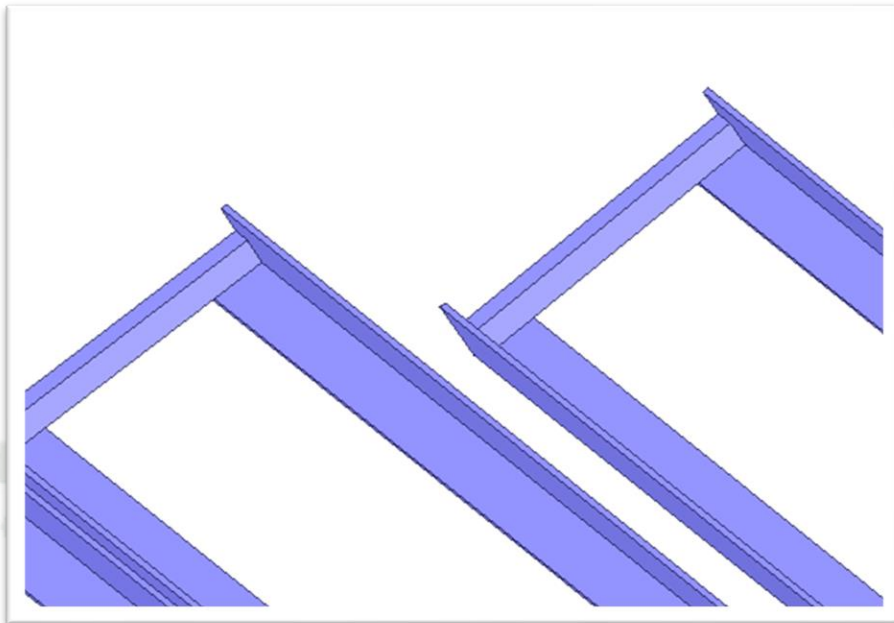
Tabla 4.12
Tamaño mínimo de soldadura

TABLA J2.4	
Tamaño Mínimo de Soldadura de Filete	
Espesor de parte unida más delgada, mm	Tamaño mínimo de soldadura de filete^[a], mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Mayor que 19	8

^[a] Dimensión del pie de la soldadura de filete. Se deben utilizar soldaduras de paso simple.
Nota: Ver la Sección J2.2b para el tamaño máximo de soldaduras de filete.

Fuente: Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero, (2015).

Figura 4.70
Referencia de materiales a unir



Fuente: Elaboración propia.

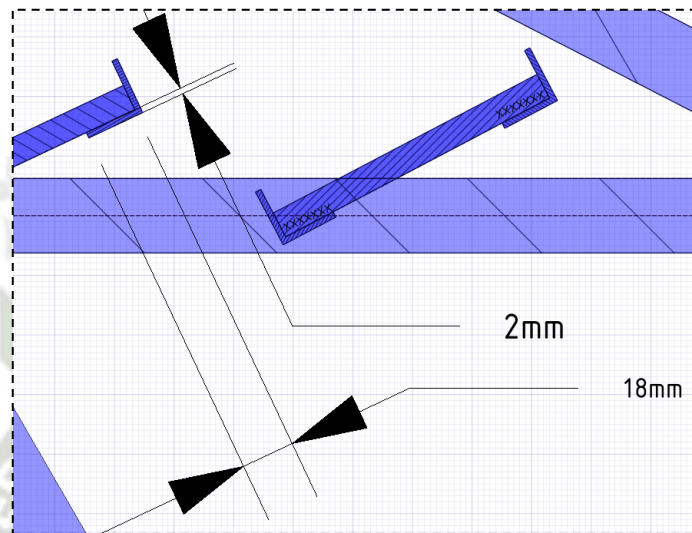
- Resistencia de diseño AISC

La resistencia de diseño de la junta viene determinada por la resistencia de la placa de espesor menor de las piezas soldadas, verificando el estado límite de ruptura en tracción y en corte:

PERFIL L – PERFIL BARRA CUADRADA

Figura 4.71

Corte transversal de las uniones



LRFD ($\Phi = 0.75$)	ASD ($\Omega = 2.00$)
Resistencia de la soldadura:	
$R_n = F_y A_g = (0.6 \times 65 \text{ ksi}) \left(\frac{3}{25.4} \times \frac{36}{25.4} \times 0.707 \right)$ $= 4.62 \text{ klb}$	$R_n = F_y A_g = (0.6 \times 65 \text{ ksi}) \left(\frac{3}{25.4} \times \frac{36}{25.4} \times 0.707 \right)$ $= 4.62 \text{ klb}$
$\Phi_t R_n = (0.75)(4.62) = 3.46 \text{ klb}$	$\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{4.62}{2.00} = 2.31 \text{ klb (10KN)}$
	OK

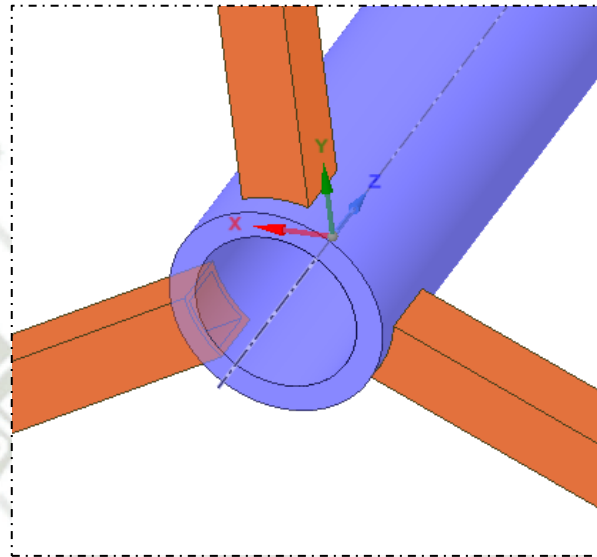
Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.2. Unión por soldadura en el concentrador lineal Fresnel

- Tamaño mínimo de la soldadura: 3 mm

Figura 4.72

Referencia de materiales a unir



Fuente: Elaboración propia.

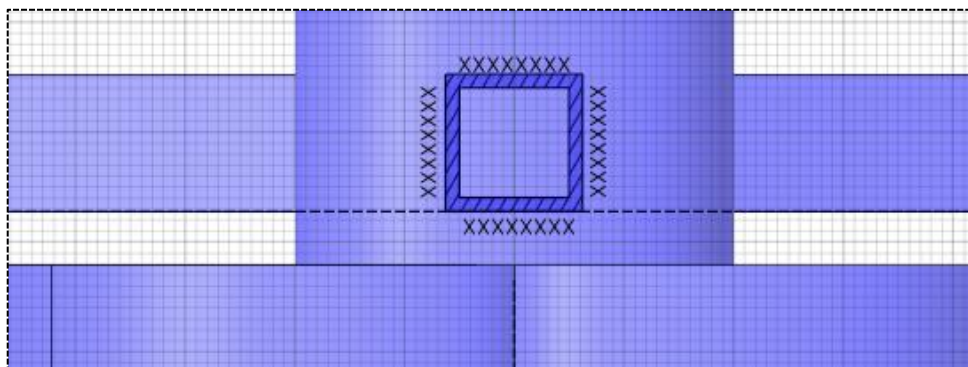
- Resistencia de diseño AISC

La resistencia de diseño de la junta viene determinada por la resistencia de la placa de espesor menor de las piezas soldadas, verificando el estado límite de ruptura en tracción y en corte:

EJE – TUBO CUADRADO

Figura 4.73

Corte transversal de las uniones



Estado de esfuerzo de la barra:

$$\sigma = 184 \text{ MPa (fatiga superficial)} ; \tau = - 45 \text{ MPa (Cortante)}$$

Fluencia en la sección total:

$$A_{\text{perfil}} = 225 \text{ mm}^2 = 0.3487 \text{ in}^2 ; P_n = 36 \text{ KSI} \times 0.3487 \text{ in}^2 = 12.55 \text{ Klb}$$

Fractura por tensión de la sección total (U = 0.75 conservador)

$$A_e = (0.75)0.3487 \text{ in}^2 = 0.2615 \text{ in}^2$$

$$P_n = 58 \text{ KSI} \times 0.2615 \text{ in}^2 = 15.1 \text{ Klb}$$

LRFD ($\Phi = 0.75$)	ASD ($\Omega = 2.00$)
<p>Fluencia:</p> $\Phi_t R_n = (0.75)(12.55) = 9.41 \text{ klb}$ <p>Fractura:</p> $\Phi_t R_n = (0.75)(15.1) = 11.38 \text{ klb}$	<p>Fluencia:</p> $\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{12.55}{2.00} = 6.28 \text{ klb}$ <p>Fractura:</p> $\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{15.1}{2.00} = 7.58 \text{ klb}$ <p>Rige</p>

LRFD ($\Phi = 0.75$)	ASD ($\Omega = 2.00$)
<p>Resistencia de la soldadura:</p> <p>Laterales y Transversales (U = 1.00):</p> $R_{n,t} = F_y A_g = (0.6 \times 68 \text{ ksi}) \left(\frac{3}{25.4} \times \frac{50}{25.4} \times 0.707 \right) = 6.71 \text{ klb}$ <p>Combinación:</p> $R_n = 0.85 (6.71) + 1.5 (6.71) = 15.76 \text{ Klb}$	<p>Laterales y Transversales (U = 1.00):</p> $R_{n,t} = F_y A_g = (0.6 \times 68 \text{ ksi}) \left(\frac{3}{25.4} \times \frac{50}{25.4} \times 0.707 \right) = 6.41 \text{ klb}$ <p>Combinación:</p> $R_n = 0.85 (6.41) + 1.5 (6.41) = 15.76 \text{ Klb}$

$\Phi_t R_n = (0.75)(15.76) = 11.82 \text{ klb}$	$\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{15.76}{2.00} = 7.88 \text{ klb} \quad \textit{Rige}$ <p>En ambos casos, la resistencia de la soldadura es mayor que la de la placa.</p> <p>OK</p>
--	--

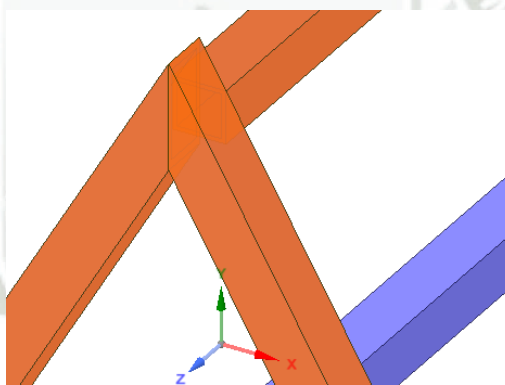
Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.3. Unión por soldadura en el soporte fijo

- Tamaño mínimo de la soldadura: 5 mm (3/16 in)

Figura 4.74

Referencia de materiales a unir



Fuente: Elaboración propia.

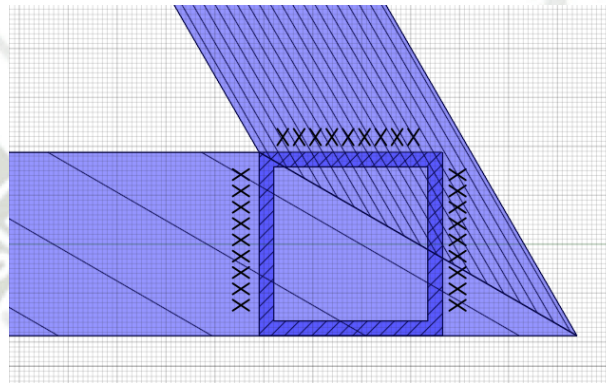
- Resistencia de diseño AISC

La resistencia de diseño de la junta viene determinada por la resistencia de la placa de espesor menor de las piezas soldadas, verificando el estado límite de ruptura en tracción y en corte:

TUBO CUADRADO – TUBO CUADRADO

Figura 4.75

Corte transversal de las uniones



Fluencia en la sección total:

$$A_{perfil} = 1656 \text{ mm}^2 = 2.5668 \text{ in}^2 ; P_n = 36 \text{ KSI} \times 2.5668 \text{ in}^2 = 92.4 \text{ Klb}$$

Fractura por tensión de la sección total (U = 0.75 conservador)

$$A_e = (0.75)2.5668 \text{ in}^2 = 1.9251 \text{ in}^2$$

$$P_n = 58 \text{ KSI} \times 1.9251 \text{ in}^2 = 111.7 \text{ Klb}$$

LRFD ($\Phi = 0.75$)	ASD ($\Omega = 2.00$)
<p>Fluencia:</p> $\Phi_t R_n = (0.75)(92.4) = 69.3 \text{ klb}$ <p>Fractura:</p> $\Phi_t R_n = (0.75)(111.7) = 83.8 \text{ klb}$	<p>Fluencia:</p> $\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{92.4}{2.00} = 46.2 \text{ klb}$ <p>Fractura:</p> $\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{111.7}{2.00} = 55.9 \text{ klb}$ <p>Rige</p>

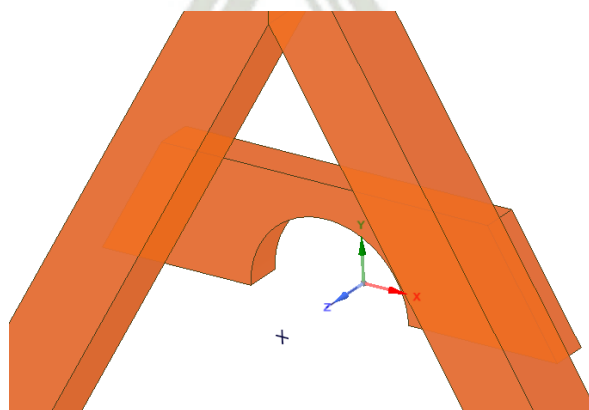
LRFD ($\Phi = 0.75$)	ASD ($\Omega = 2.00$)
Resistencia de la soldadura:	
Laterales y Transversales ($U = 1.00$): $R_{n,t} = F_y A_g = (0.6 \times 68 \text{ ksi}) \left(\frac{5}{25.4} \times \frac{63}{25.4} \times 0.707 \right) = 14.08 \text{ klb}$	Laterales y Transversales ($U = 1.00$): $R_{n,t} = F_y A_g = (0.6 \times 68 \text{ ksi}) \left(\frac{5}{25.4} \times \frac{63}{25.4} \times 0.707 \right) = 14.08 \text{ klb}$
Combinación: $R_n = 0.85 (14.1 + 14.1) + 1.5 (14.1) = 45.1 \text{ Klb}$	Combinación: $R_n = 0.85 (14.1 + 14.1) + 1.5 (14.1) = 45.1 \text{ Klb}$
$\Phi_t R_n = (0.75)(45.1) = 33.8 \text{ klb}$	$\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{45.1}{2.00} = 22.53 \text{ klb}$
	Rige
	OK

Fuente: Elaboración propia.

- Tamaño mínimo de la soldadura: 1/8 in (por verificar)

Figura 4.76

Referencia de materiales a unir



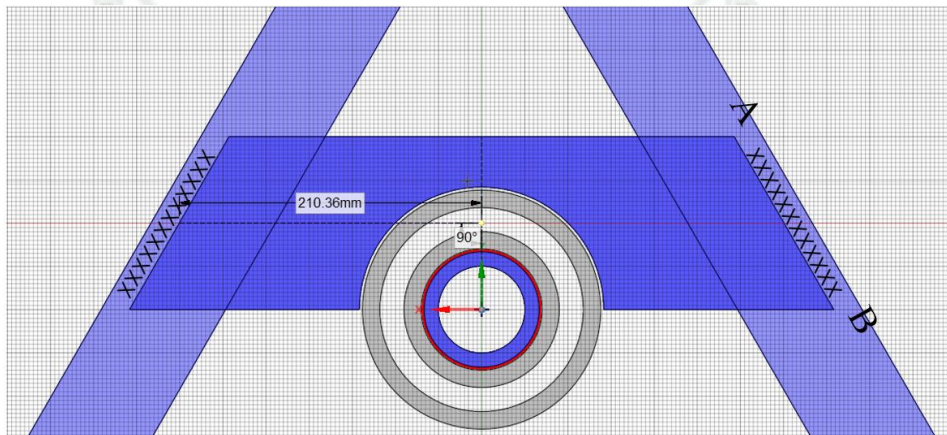
Fuente: Elaboración propia.

- Resistencia de diseño AISC

La resistencia de diseño de la junta viene determinada por la resistencia de la placa de espesor menor de las piezas soldadas, verificando el estado límite de ruptura en tracción y en corte:

PLANCHA – TUBO CUADRADO

Figura 4.77 Corte transversal de las uniones



Longitud de la soldadura: 127 mm de cada lado (5 in); 100 N.m = 885 lb.in

Fluencia en la sección total:

$$A_{\text{perfil}} = 1656 \text{ mm}^2 = 2.5668 \text{ in}^2 ; P_n = 36 \text{ KSI} \times 2.5668 \text{ in}^2 = 92.4 \text{ Klb}$$

Fractura por tensión de la sección total (U = 0.75 conservador)

$$A_e = (0.75)2.5668 \text{ in}^2 = 1.9251 \text{ in}^2$$

$$P_n = 58 \text{ KSI} \times 1.9251 \text{ in}^2 = 111.7 \text{ Klb}$$

LRFD ($\Phi = 0.75$)	ASD ($\Omega = 2.00$)
Fluencia: $\Phi_t R_n = (0.75)(92.4) = 69.3 \text{ klb}$	Fluencia: $\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{12.55}{2.00} = 46.2 \text{ klb}$
Fractura: $\Phi_t R_n = (0.75)(111.7) = 83.8 \text{ klb}$	Fractura: $\frac{R_n}{\Omega_t} = \frac{15.1}{2.00} = 55.9 \text{ klb}$

Rige	
LRFD ($\Phi = 0.75$)	ASD ($\Omega = 2.00$)
<p>Resistencia de la soldadura:</p> <p>a) Momento polar de inercia:</p> $J_w = 2 \left(\frac{5^3}{12} + 5 \times (210/25.4)^2 \right) = 704.8 \text{ in}^3$ $Z_w = \frac{J_w}{c} = \frac{704.8}{60/25.4} = 298 \text{ in}^2$ <p>b) Cargas:</p> <p>Corte directo:</p> $f_{wd} = \frac{9.81 \times 1/4.448 \times 168/2}{5 + 5} = 18.5 \text{ lb/in}$ <p>Corte por torsión:</p> $f_{wt,hz,vt} = \frac{T \times c}{J}$ <p>En A:</p> $f_{wt,hz} = \frac{885 \times 60/25.4}{704.8} = 3 \text{ lb/in}$ $f_{wt,vt} = \frac{885 \times 175/25.4}{704.8} = 8.7 \text{ lb/in}$ $f_{wt} = \sqrt{(3)^2 + (8.7)^2}$ <p>En B:</p> $f_{wt,hz} = \frac{885 \times 60/25.4}{704.8} = 3 \text{ lb/in}$ $f_{wt,vt} = \frac{885 \times 245/25.4}{704.8} = 12.1 \text{ lb/in}$	<p>Resistencia de la soldadura:</p> <p>a) Momento polar de inercia:</p> $J_w = 2 \left(\frac{5^3}{12} + 5 \times (210/25.4)^2 \right) = 704.8 \text{ in}^3$ $Z_w = \frac{J_w}{c} = \frac{704.8}{60/25.4} = 298 \text{ in}^3$ <p>b) Cargas:</p> <p>Corte directo:</p> $f_{wd} = \frac{9.81 \times 1/4.448 \times 168/2}{5 + 5} = 18.5 \text{ lb/in}$ <p>Corte por torsión:</p> <p>En A:</p> $f_{wt,hz} = \frac{885 \times 60/25.4}{704.8} = 3 \text{ lb/in}$ $f_{wt,vt} = \frac{885 \times 175/25.4}{704.8} = 8.7 \text{ lb/in}$ $f_{wt} = \sqrt{(3)^2 + (8.7)^2}$ <p>En B:</p> $f_{wt,hz} = \frac{885 \times 60/25.4}{704.8} = 3 \text{ lb/in}$ $f_{wt,vt} = \frac{885 \times 245/25.4}{704.8} = 12.1 \text{ lb/in}$

Corte por momento flector (1500 mm = 59

in):

$$f_{wm} = \frac{(9.81 \times 1/4.448 \times 168/2) \times 59}{298}$$

$$= 37.7 \text{ lb/in}$$

Resultante:

$$f_{wR,A} = \sqrt{(3)^2 + (8.7 + 18.5)^2 + (37.7)^2}$$

$$= 46.6 \text{ lb/in}$$

$$f_{wR,B} = \sqrt{(3)^2 + (8.7 + 12.1)^2 + (37.7)^2}$$

$$= 43.2 \text{ lb/in}$$

Tamaño:

$$w = \frac{f_{wR}}{\Phi_t R_n} = \frac{46.6}{0.75 * 0.707 * 0.6 * 60000}$$

$$= 2.4 * 10^{-3} \text{ in}$$

**Use soldaduras de filete de 1/8 in, E60xx,
SMAW.**

Corte por momento flector:

$$f_{wm} = \frac{(9.81 \times 1/4.448 \times 168/2) \times 59}{298}$$

$$= 37.7 \text{ lb/in}$$

Resultante:

$$f_{wR,A} = \sqrt{(3)^2 + (8.7 + 18.5)^2 + (37.7)^2}$$

$$= 46.6 \text{ lb/in}$$

$$f_{wR,B} = \sqrt{(3)^2 + (8.7 + 12.1)^2 + (37.7)^2}$$

$$= 43.2 \text{ lb/in}$$

Tamaño:

$$w = \frac{f_{wR}}{\frac{R_n}{\Omega_t}} = \frac{2 * 46.6}{0.707 * 0.6 * 60000}$$

$$= 3.6 * 10^{-3} \text{ in}$$

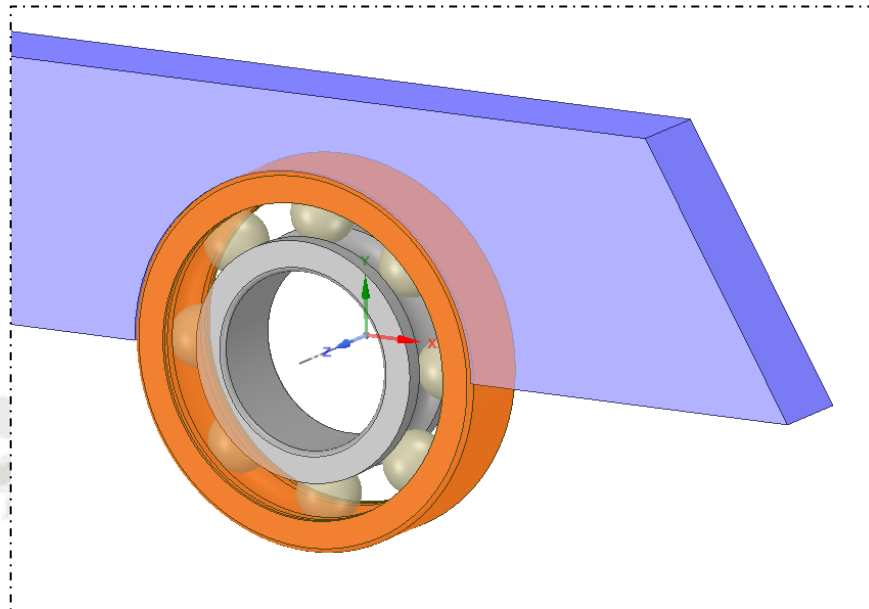
**Use soldaduras de filete de 1/8 in, E60xx,
SMAW.**

Fuente: Elaboración propia.

- Tamaño mínimo de la soldadura: 1/8 in

Figura 4.78

Referencia de materiales a unir



Fuente: Elaboración propia.

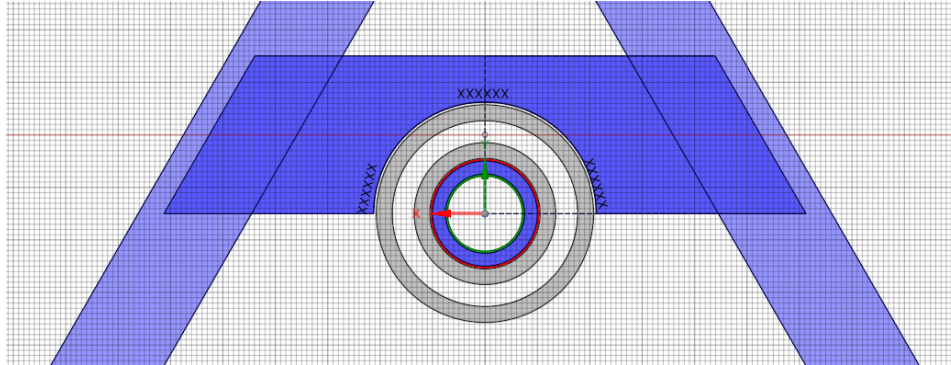
- Resistencia de diseño AISC

La resistencia de diseño de la junta viene determinada por la resistencia de la placa de espesor menor de las piezas soldadas, verificando el estado límite de ruptura en tracción y en corte:

PLANCHA – RODAMIENTO

Figura 4.79

Corte transversal de las uniones



Fuente: Elaboración propia.

Radio del extremo lejano del cojinete: 85 mm

Longitud de arco: 267 mm

Porcentaje de intermitencia: 50% (2-4)

Paso: 4 in

Tamaño de la soldadura: 1/8 in

Longitud de la soldadura: 6 in (ambos lados: 12 in)

Resistencia: Verificada en la tabla anterior. OK



CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación, un concentrador solar del tipo Fresnel lineal ha sido dimensionado y su viabilidad técnica estructural es evaluada en orden para ser utilizada dentro del rango doméstico e industrial. Este diseño tiene la característica principal de mantener los espejos fijos a una estructura soporte, de tal forma que la misma rote acorde a el aprovechamiento máximo de irradiancia solar disponible.

Se realizó el estudio estructural del concentrador solar tipo Fresnel mediante el software de simulación con elementos finitos Ansys Inc. obteniendo resultados rápidos y fiables según la justificación de la discretización del modelo. Se obtuvo los mayores esfuerzos equivalentes, según la teoría de diseño de von-Mises en el eje principal de torsión (185 MPa, y 19926 Horas), siendo dominante el factor de diseño denominado Esfuerzo por fatiga superficial.

Se realizó también el estudio estructural aplicado a la deformación, obteniendo una deformación máxima local de 15 mm en la centro de la viga de soporte del espejo extremo. Esta deformación máxima se encuentra dentro del rango del diseño óptico definido para la captación de rayos solares.

Se definió la geometría útil para el correcto funcionamiento del colector solar tipo Fresnel, compuesto por cuatro diferentes perfiles estructurales para la forma compuesta de vigas. También se realizó la selección de los cojinetes del tipo rígido de bolas y el dimensionamiento del sistema rotatorio de los espejos.

Se realizó un estudio final de síntesis de los esfuerzos de cálculo para comprobar los coeficientes de diseño y seguridad necesarios en el diseño de la estructura. También se estableció un régimen de funcionamiento en función a la temperatura esperada y los valores típicos de irradiancia solar disponibles.

Se elaboró la ingeniería de detalle, especificando los componentes de la estructura, así como un diagrama de vigas, espejos, geometría de los concentradores y detalles mecánicos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de herramientas computacionales para el diseño de mecanismos simples y complejos con el fin de ahorrar tiempo de cálculo. Asimismo, al realizar este tipo de estudio se recomienda verificar los valores de la discretización del modelo en elementos finitos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceros Arequipa. (2022). *Catálogo De Productos Y Servicios*.

Ajdad, et al. (2018). Thermal and optical efficiency analysis of the linear fresnel concentrator compound parabolic collector receiver. *Journal of Solar Energy Engineering*, 140(5).

Alois, Breiing, Engelmann, F., & Gutowski, T. (2009). Engineering design. En *Handbook of Mechanical Engineering* (págs. 819-877). Springer.

American Institute of Steel Construction. (2010). *Especificación AISC, Tabla D-3.1*. 16.1-28. .

Askari, I. B., & Ameri, M. (2017). The application of linear Fresnel and parabolic trough solar fields as thermal source to produce electricity and fresh water. *Desalination*, 415, 90-103.

Bannantine, Comer, & Handrock. (1990). *Fundamentals of metal fatigue analysis*. Research supported by the University of Illinois.

Bellos, & Evangelos. (2019). Progress in the design and the applications of linear Fresnel reflectors – A critical review. *Thermal Science and Engineering Progress*(10), 112-137.

Bellos, & Tzivanidis. (2018). Development of analytical expressions for the incident angle modifiers of a linear Fresnel reflector. *Sol. Energy*, 769.

Bellos, E. (2019). Progress in the design and the applications of linear Fresnel reflectors–A critical review. *Thermal Science and Engineering Progress*, 10, 112-137.

Bellos, E., & Tzivanidis, C. (2018). Development of analytical expressions for the incident angle modifiers of a linear Fresnel reflector. *Solar Energy*, 173, 769-779.

- Beltagy, H., Semmar, D., Lehaut, C., & Said, N. (2017). Theoretical and experimental performance analysis of a Fresnel type solar concentrator. *Renewable Energy*, *101*, 782-793.
- Benavides, M. A., & Muñoz, S. S. (2015). *Diseño y simulación de un colector solar lineal de fresnel para la producción de vapor en base a las condiciones climáticas de la ciudad de Quito*. Quito.
- Blazquez. (17 de Enero de 2022). *Cigüeñal*. Obtenido de <https://noticias.coches.com/consejos/ciguenal-motor/401352>
- Boresi, A. P., & Schmidt, R. J. (2003). *Advanced Mechanics of Materials*. Nueva York: Wiley.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico D. F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cagnoli, M., Mazzei, D., Procopio, M., Russo, V., Savoldi, L., & Zanino, R. (2018). Analysis of the performance of linear Fresnel collectors: Encapsulated vs. evacuated tubes. *Solar Energy*, *164*, 119-13.
- Camayo-Lapa, B., & Pomachagua-Paucar, J. (2017). Validación y aplicación del modelo Bristow Campbell para estimar la radiación solar global de la región de Junin. *Tecnología Química*, *37*(3), 574-590.
- Çapar, Y. (2015). *Contact Types and Behaviours in Structural Analysis*. Recuperado el 23 de 07 de 2021, de <https://yasincapar.com/contact-types-and-behaviours-in-structural-analysis/>
- Cocco, D., & Cau, G. (2015). Energy and economic analysis of concentrating solar power plants based on parabolic trough and linear Fresnel collectors. *Proceedings of the*

Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 229(6), 677-688.

Collares-Pereira, M., Canavarro, D., & Chaves, J. (2017). Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology. *Woodhead Publishing*, 45-55.

Cross, N. (2002). *Metodos de diseño Estrategias para el diseño de productos*. Mexico D.F.: John Wiley.

Duffie, & Beckman. (2020). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York, USA: Wiley Interscience.

E. Bellos, C. T. (2017). A detailed exergetic analysis of parabolic trough collectors. *Energy Convers. Manage.* (149), 275–292.

Flores, G. &. (2019). *Diseño de un Módulo Didáctico de Intercambiador de Calor de Coraza y Tubos para la Ampliación del Sistema de Vapor del Laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica de Santa María*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Mecanico].

Gallego, A. J., Sánchez, A. J., Berenguel, M., & Camacho, E. F. (2020). Adaptive UKF-based model predictive control of a Fresnel collector field. *Journal of Process Control*, 76-90.

Gutiérrez. (17 de Jan de 2022). *Modelo dinámico de banco de pruebas de engranajes planetarios*. Obtenido de

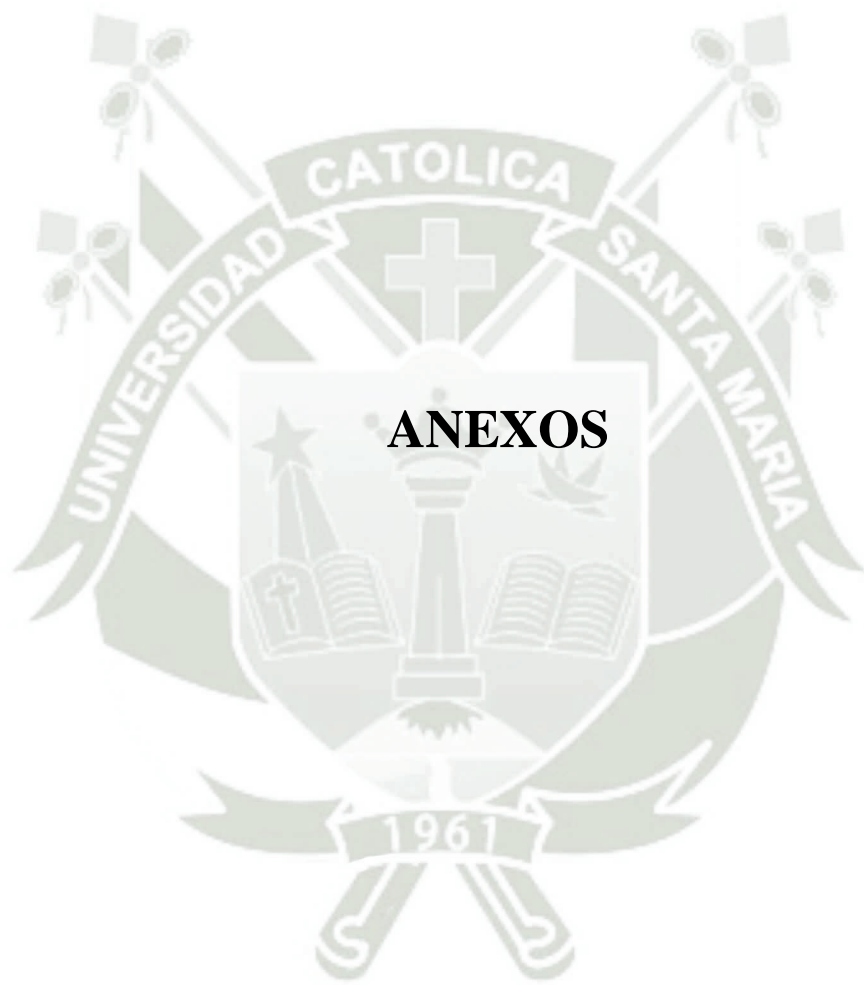
https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/17012&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=6494018935774132688&ei=ul9-

[Y579AeeR6rQPj_qo2Ao&scisig=AAGBfm0MRycM3h69sSZ4rISzPf6LMiY-Ug](https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/17012&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=6494018935774132688&ei=ul9-Y579AeeR6rQPj_qo2Ao&scisig=AAGBfm0MRycM3h69sSZ4rISzPf6LMiY-Ug)

- Hibbele, R. C. (2011). *Mecánica de materiales*. Mexico : Pearson Education, Inc., publishing as PRENTICE HALL, INC.
- Hobbacher, A. (2016). *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components*. London: © Springer International Publishing Switzerland.
- Huang, F., Li, L., & Huang, W. (2014). Optical performance of an azimuth tracking linear Fresnel solar concentrator. *Solar energy*, 108, 1-12.
- Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero. (2015). *Tamaño mínimo de la soldadura de Filite*. Obtenido de <https://www.alacero.org/>
- Kroenke. (1973). *Computing the stress components*. Obtenido de <https://abaqus-docs.mit.edu/2017/English/SIMACAETHERefMap/simathe-c-stresslinear.htm>
- Lovegrove, K., & Csiro, W. S. (2012). Introduction to concentrating solar power (CSP) technology . *Concentrating Solar Power Technology*.
- Madrid, & Mejia. (2022). *El avance de la distribución de energía eléctrica en el Perú y la implementación de paneles solares en el Perú*. Obtenido de <https://autosolar.pe/>
- Mccormac, J. C., & Csernak, S. F. (2013). *Diseño de Estructuras de Acero*. MEXICO DF: Alfaomega.
- Mills. (2012). Linear Fresnel reflector (LFR) technology, in: Keith Lovegrove, Wes Stein. *Woodhead Publishing Series in Energy, Concentrating Solar Power Technology*, 101, 153-196.
- Ministerio de Energía y Minas. (7 de Enero de 2022). *Más de 168 mil habitantes de zonas rurales accederían a la energía eléctrica durante el 2022*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/574592-mas-de-168-mil-habitantes-de-zonas-rurales-accederian-a-la-energia-electrica-durante-el-2022>

- Moghimi, M. A., Craig, K. J., & Meyer, J. P. (2015). A novel computational approach to combine the optical and thermal modelling of Linear Fresnel Collectors using the finite volume method. *Solar Energy*, 116, 407-427.
- Montes, M. J., Rubbia, C., Abbas, R., & Martínez-Val, J. (2014). A comparative analysis of configurations of linear Fresnel collectors for concentrating solar power. *Energy*, 73, 192-203.
- Morin, G., Dersch, J., Platzer, W., Eck, M., & Häberle, A. (2012). Comparison of linear Fresnel and parabolic trough collector power plants. *Solar Energy*, 86(1), 1-12.
- Oerlikon. (2020). *Especificaciones técnicas del electrodo*. Obtenido de <https://www.oerlikon.com/en/industries/aerospace-industry/>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & K.-H., G. (2007). *Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung*. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag.
- Qazi, S. (2017). Solar Thermal Electricity and Solar Insolation . En *Standalone Photovoltaic (PV) Systems for Disaster Relief and Remote Areas*.
- Quintanilla. (2020). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para suministrar de energía eléctrica la localidad de Patahuasi-Pampa Cañahuas*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Mecánico - Electricista]. Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/10422/4L.0364.IM.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Robert L. Mott, P. E. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico D.F.: Pearson Education, Inc.

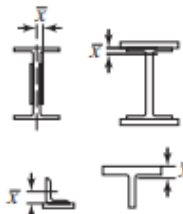
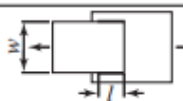

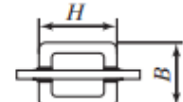
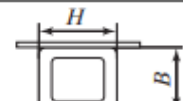
- Rosas, & Chicata, J. C. (2021). *Diseño de un concentrador solar tipo fresnel lineal para calentamiento de agua con flujo continuo*. AREQUIPA-PERÚ: [Tesis para optar el grado de Ingeniero Mecanico].
- Skf. (2020). *Especificaciones técnicas de rodamiento*. Obtenido de https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf
- Velázquez, N., García-Valladares, O., Saucedo, D., & Beltrán, R. (2010). Numerical simulation of a Linear Fresnel Reflector Concentrator used as direct generator in a Solar-GAX cycle. *Energy Conversion and Management*, 434-445.
- Vera. (17 de Noviembre de 2022). *Gas Natural, un Beneficio para Millones de Peruanos*. Obtenido de https://revistaenergia.pe/wp-content/uploads/2022/09/REVISTA-31_Set._.pdf
- Zhu, G., Wendelin, T., Wagner, M. J., & Kutscher, C. (2014). History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors. *Solar Energy*, 103, 639-652.



Anexo 1:

Factor de retraso de cortante usado para soldadura

TABLA 3.2 Factores de retraso de cortante para los conectores de los miembros a tensión.

Caso	Descripción del elemento		Factor de retraso de cortante, U	Ejemplo
1	Todos los miembros a tensión donde la carga de tensión se transmite directamente a cada uno de los elementos de la sección transversal mediante sujetadores o soldadura (excepto en los Casos 4, 5 y 6).		$U = 1.0$	—
2	Todos los miembros a tensión, excepto placas y HSS, donde la carga de tensión se transmite a algunos pero no a todos los elementos de la sección transversal mediante sujetadores o soldadura longitudinal en combinación con soldadura transversal. (En forma alterna, para W, M, S y HP, puede usarse el Caso 7. Para los ángulos, puede usarse el Caso 8.)		$U = 1 - \bar{x}/l$	
3	Todos los miembros a tensión donde la carga de tensión se transmite solamente por la soldadura transversal a algunos pero no a todos los elementos de la sección transversal.		$U = 1.0$ y $A_n = \text{área de los elementos directamente conectados}$	—
4	Placas donde la carga de tensión se transmite solamente por soldadura longitudinal.		$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$	
5	HSS redonda con una placa de empalme concéntrica individual.		$l \geq 1.3D \dots U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$	
6	HSS rectangular	con una placa de empalme concéntrica individual	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$	
		con dos placas de empalme laterales	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	
7	Perfiles W, M, S o HP o tes cortadas de estos perfiles. (Si U se calcula según el Caso 2, se permite usar el valor mayor.)	con el patín conectado con 3 o más sujetadores por línea en la dirección de la carga	$b_f \geq 2/3d \dots U = 0.90$ $b_f < 2/3d \dots U = 0.85$	—
		con el alma conectada con 4 o más sujetadores por línea en la dirección de la carga	$U = 0.70$	—
8	Ángulos individuales y dobles (si U se calcula según el Caso 2, se permite usar el valor mayor).	con 4 o más sujetadores por línea en la dirección de la carga	$U = 0.80$	—
		con 3 sujetadores por línea en la dirección de la carga (con menos de 3 sujetadores por línea en la dirección de la carga, use el Caso 2).	$U = 0.60$	—

l = longitud de la conexión, plg (mm); w = ancho de placa, plg (mm); \bar{x} = excentricidad de la conexión, plg (mm); B = ancho total del miembro rectangular HSS, medido a 90° con el plano de la conexión, plg (mm); H = altura total del miembro rectangular HSS, medida en el plano de la conexión, plg (mm).

Fuente: American Institute of Steel Construction, (2010)

Anexo 2:

Tabla J2.5 del Manual de la AISC

TABLA J2.5 Resistencia Disponible de Juntas Soldadas, T (kN)					
Tipo de Carga y Dirección Relativa al Eje de Soldadura	Metal Pertinente	ϕ y Ω	Tensión Nominal (F_{nBM} o F_{nv}) kgf/cm ² (MPa)	Área Efectiva (A_{BM} o A_{we}) cm ² (mm ²)	Nivel de Resistencia Requerida del Metal de Aporte ^[a] ^[b]
SOLDADURAS DE TOPE CON JUNTA DE PENETRACIÓN COMPLETA					
Tracción Normal al eje de soldadura	Resistencia de la junta controlada por el metal base			Se debe usar metal de aporte compatible con el metal base. Para juntas T y de esquina sin remoción de soporte, se requiere de metal de aporte con tenacidad especificada. Ver la Sección J2.6.	
Compresión Normal el eje de soldadura	Resistencia de la junta controlada por el metal base			Se permite metal de aporte con nivel de resistencia igual a un nivel de resistencia menor que metal de aporte compatible con el metal base.	
Tracción o Compresión Paralelo al eje de soldadura	Tracción o compresión en partes unidas paralelas a la soldadura no necesitan ser consideradas en el diseño de soldaduras que unen las partes			Se permite metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que metal de aporte compatible con el metal base.	
Corte	Resistencia de la junta controlada por el metal base			Se debe usar metal de aporte compatible con el metal base. ^[c]	
SOLDADURAS DE TOPE CON JUNTA DE PENETRACION PARCIAL INCLUYENDO SOLDADURAS DE SURCOS V Y BISEL ACAMPANADOS					
Tracción Normal al eje de soldadura	Base	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	F_u	Ver J4	Se permite un metal de aporte con un nivel de
	Soldadura	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	$0,60 F_{Exx}$	Ver J2.1 a	

TABLA J2.5 (continuación) Resistencia Disponible de Juntas Soldadas, T (kN)					
Tipo de Carga y Dirección Relativa al Eje de Soldadura	Metal Pertinente	ϕ y Ω	Tensión Nominal (F_{nBM} o F_{nv}) kgf/cm ² (MPa)	Área Efectiva (A_{BM} o A_{we}) cm ² (mm ²)	Nivel de Resistencia Requerida del Metal de Aporte ^{[a] [b]}
Compresión Columna a plancha base y empalmes de columna diseñadas por Sección J1.4(a)	No se necesita considerar la tensión de compresión en el diseño de soldaduras que conectan las partes.				resistencia igual o menor que el metal de aporte compatible con el metal base.
Compresión Conexiones de miembros diseñados para soportar que no sean columnas como se describe en Sección J1.4(b)	Base	$\phi = 0,90$ $\Omega = 1,67$	F_y	Ver J4	
	Soldadura	$\phi = 0,80$ $\Omega = 1,88$	$0,60 F_{Exx}$	Ver J2.1a	
Compresión Conexiones no terminadas para soporte	Base	$\phi = 0,90$ $\Omega = 1,67$	F_y	Ver J4	
	Soldadura	$\phi = 0,80$ $\Omega = 1,88$	$0,90 F_{Exx}$	Ver J2.1a	
Tracción o Compresión Paralelo al eje de soldadura	No se necesita considerar la tracción o compresión paralela a una soldadura en el diseño de las soldaduras que unen las partes.				
Corte	Base	Gobernado por J4			
	Soldadura	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	$0,60 F_{Exx}$	Ver J2.1a	



SOLDADURAS DE FILETE INCLUYENDO FILETES EN AGUJEROS Y EN RANURAS Y JUNTAS T ESVIADAS					
Corte	Base	Gobernado por J4			Se permite un metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que el metal de aporte compatible con metal base.
	Soldadura	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	$0,60 F_{EXX}^{[d]}$	Ver J2.2a	
Tensión o Compresión Paralelo al eje de soldadura	No se necesita considerar la tracción o la compresión paralela a una soldadura en el diseño de las soldaduras que unen las partes.				
SOLDADURAS DE TAPON Y DE RANURA					
Corte Paralelo a la superficie de contacto en el área efectiva	Base	Gobernado por J4			Se permite un metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que el metal de aporte compatible con metal base.
	Soldadura	$\phi = 0,75$ $\Omega = 2,00$	$0,60 F_{EXX}$	Ver J2.3a	
<p>^[a] Para metal de soldadura compatible con metal base ver la Sección 3.3 de AWS D1.1.</p> <p>^[b] Se permite un metal de aporte con un nivel de resistencia un nivel mayor que aquel compatible con metal base.</p> <p>^[c] Se pueden usar metales de aporte con un nivel de resistencia menor que aquel compatible con metal base para soldaduras de tope entre las almas y alas de secciones armadas transfiriendo las cargas de corte, o en aplicaciones donde la alta condición de restricción es una preocupación. En estas aplicaciones, la junta soldada puede ser detallada y la soldadura puede ser diseñada utilizando el espesor del material como la garganta efectiva, $\phi = 0,80$, $\Omega = 1,88$ y $0,60 F_{EXX}$ como resistencia nominal.</p> <p>^[d] Alternativamente, se permiten las disposiciones de la Sección J2.4(a) cuando se considera la compatibilidad de deformaciones de los variados elementos de soldadura. Alternativamente, las Secciones J2.4(b) y (c) son aplicaciones especiales de la Sección J2.4(a) que proveen la compatibilidad de deformación.</p>					

Fuente: American Institute of Steel Construction, (2010)



Anexo 3:

Especificaciones técnicas del electrodo

CELLOCORD P

OERLIKON

Color de Revestimiento Gris Claro	Celulósico aplicado sólo con Corriente continua	Extremo : Punto : Grupo :
--------------------------------------	--	---------------------------------

Normas:

AWS/ASME: A5.1 – 91	DIN 1913	ISO 2560
E 6010	E 43 43 C 4	E 43 2 C 16

Análisis químico del metal depositado (%):

C	Mn	Si	P	S
0.08-0.15	0.40 – 0.60	0.18 – 0.25	0.01	0.01

Características:

- Electrodo de tipo celulósico de gran penetración.
- Especial para posición vertical ascendente.
- Ideal para soldadura de tuberías y multipase en estructuras de acero al carbono.
- Para planchas galvanizadas hasta un espesor de 8mm.
- Depósitos aprobados por rayos X.

Resecado: Normalmente no necesita ressecado.

Aprobaciones: ABS, LRS, GL (Grado 3)

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Ch V - 20°C	Elongación en 2"
45 – 550 N/mm ²	> 360 N/mm ²	> 80 J	22 – 30%
65,000 a 80,000 lb/pulg ²	> 52,000 lb/pulg ²		

Posiciones de Soldar: P, H, Sc, Va.

Corriente y Polaridad:

Para corriente continua – Electrodo al polo positivo					
Ø	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	2,5mm	3,25 mm.	4,0 mm.	5,0 mm	6,30mm
Amp. mín.	50	80	100	140	190
Amp. máx.	80	130	230	230	370

Aplicaciones:

- Aceros de construcción no aleados (estructurales)
- Para soldar aceros de bajo carbono, cuando se desea penetración profunda, poca escoria y cordones no abultados.
- Fabricación de muebles metálicos, catres, mesa, etc.
- Carpintería metálica liviana.
- Fabricación de ductos de ventilación.
- Para la soldadura de todas las uniones o tope que requieren una buena penetración en el primer pase.
- Para la ejecución de uniones de tubos de aceros de bajo carbono.

Fuente: Oerlikon, (2020)

Anexo 4:

Esfuerzos considerados en soldadura (Manual de Diseño para la Construcción con Acero)

Tabla 1.3 Esfuerzos F_y y F_u de aceros estructurales.

Nomenclatura		F_y (3)		F_u (4)	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
		320	3 235	460	4 710
		345	3 515	485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
		345	3 515	450	4 570
		414	4 220	515	5 270
		450	4 570	550	5 620
	A992	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 (5)	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 (6)	3 515 (6)	483 (6)	4 920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3 515 a 4 920 (7)	448 a 620 (7)	4 570 a 6 330 (7)

- (1) Norma Mexicana.
- (2) American Society for Testing and Materials.
- (3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material.
- (4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.
- (5) ASTM especifica varios grados de acero A500, para tubos circulares y rectangulares.
- (6) Para perfiles estructurales; para placas y barras, ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material.
- (7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70.

Fuente: American Institute of Steel Construction, (2010)

Anexo 5:

Especificaciones técnicas de rodamiento

SKF

Generado desde [sitio] el [fecha]



6316/C3VL0241

- Item popular

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas INSOCOAT

Datos de los rodamientos

Tolerancias,

Normales, P6, P5,

Juego radial interno,

tabla

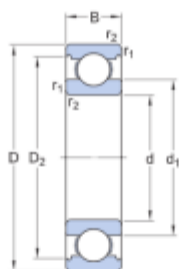
Interfaces del rodamiento

Tolerancias de los asientos

para condiciones estándares,

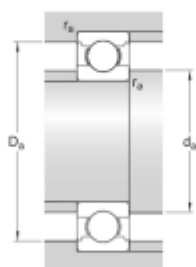
Tolerancias y ajuste resultante

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	80 mm	Diámetro del agujero
D	170 mm	Diámetro exterior
B	39 mm	Ancho
d ₁	≈ 108 mm	Diámetro del resalte del aro interior
D ₂	≈ 149 mm	Diámetro del rebaje del resalte del aro exterior
r ₁	min. 2.1 mm	Dimensión del chaflán



DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d _i	min. 92 mm	Diámetro del resalte del eje
D	min. 154 mm	Diámetro del resalte del eje
D	max. 158 mm	Diámetro del resalte del soporte
r _a	max. 2 mm	Radio de acuerdo

SKF

Página [página] de 4

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	130 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	86.5 kN
Carga límite de fatiga	P_u	3.25 kN
Velocidad de referencia		8 500 r/min
Velocidad límite		5 300 r/min
Factor de cálculo	k_f	0.03
Factor de cálculo	f_0	13.3

MASA

Masa de rodamiento		3.55 kg
--------------------	--	---------

Fuente: Skf, (2020)

Anexo 6:

Catálogo de productos Aceros Arequipa (solo perfiles utilizados)

PERFILES

Ángulos Estructurales



NORMAS TÉCNICAS

- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M y NTP 350.400
- Tolerancias Dimensionales:
- Sistema Inglés: ASTM A6 / A6M y NTP 241.105.
- Sistema Métrico: ISO 657 / V y NTP 241.105.



USOS

En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.



PRESENTACIÓN

Se comercializa en longitudes de 6 metros. Se suministra en paquetes de 1 t.



PROPIEDADES MECÁNICAS

- Límite de Fluencia mínimo = 250 MPa (2,530 kg/cm²) mínimo
 - Resistencia a la Tracción = 400 - 550 MPa (4,080 - 5,620 kg/cm²)
 - Alargamiento en 200 mm
 - Espesores: 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 1/8", 3/32", 4.5 mm y 3/16"
 - 6.0 mm = 15.0% mínimo
 - 1/4" = 17.0% mínimo
 - 5/16", 3/8" y 1/2" = 17.5% mínimo
 - = 20.0% mínimo
 - Soldabilidad = Buena
- * Para los espesores de 2.0 mm a 2.5 mm, la resistencia a la tracción mínima es de 340 MPa.



DIMENSIONES

Sistema Métrico (mm)	Sistema Inglés (pulgadas)
20 x 20 x 2.0	2 x 2 x 5/16
20 x 20 x 2.5	2 1/2 x 2 1/2 x 5/16
20 x 20 x 3.0	3 x 3 x 3/16
25 x 25 x 2.0	5 x 5 x 3/8
25 x 25 x 2.5	5 x 5 x 1/2
25 x 25 x 3.0	6 x 6 x 3/8
25 x 25 x 4.5	6 x 6 x 1/2
30 x 30 x 2.0	
30 x 30 x 2.5	
30 x 30 x 3.0	
30 x 30 x 4.5	
38 x 38 x 2.0	

Ángulos Estructurales de Calidad Dual



DIMENSIONES

Sistema Inglés (pulgadas)

- 1 1/2 x 1 1/2 x 3/32
- 1 1/2 x 1 1/2 x 1/8
- 1 1/2 x 1 1/2 x 3/16
- 1 1/2 x 1 1/2 x 1/4
- 2 x 2 x 1/8
- 2 x 2 x 3/16
- 2 x 2 x 1/4
- 2 x 2 x 3/8
- 2 1/2 x 2 1/2 x 3/16
- 2 1/2 x 2 1/2 x 1/4
- 2 1/2 x 2 1/2 x 3/8
- 3 x 3 x 1/4
- 3 x 3 x 5/16
- 3 x 3 x 3/8
- 3 x 3 x 1/2
- 4 x 4 x 1/4
- 4 x 4 x 5/16
- 4 x 4 x 3/8
- 4 x 4 x 1/2



NORMAS TÉCNICAS

- Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M, ASTM A572/A572M, NTP 350.400 y NTP 350.408.
- Tolerancias Dimensionales: ASTM A6/A6M y NTP 241.105.



USOS

Para la fabricación de estructuras de acero en plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se pueden utilizar para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.



PRESENTACIÓN

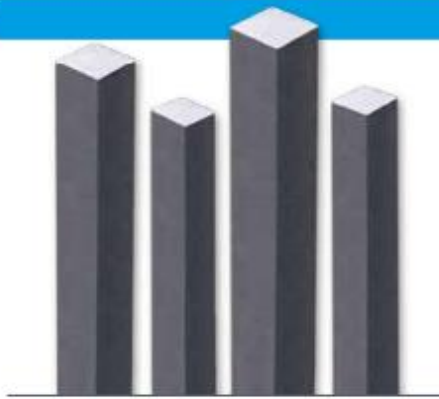
Se comercializa en longitudes de 6 m. Se suministra en paquetes de 1 t.



PROPIEDADES MECÁNICAS

- Límite de Fluencia mínimo = 345 MPa (3,520 kg/cm²)
- Resistencia a la Tracción = 450 - 550 MPa (4,590 - 5,620 kg/cm²)
- Alargamiento en 200 mm: 3/32", 1/8" y 3/16"
- 1/4" = 15.0% mínimo
- 5/16", 3/8" y 1/2" = 17.5% mínimo
- = 20.0% mínimo
- Soldabilidad = Buena

Barras Cuadradas



DIMENSIONES

Sistema Inglés (pulgadas)	Sistema Métrico (mm)
3/4	9
1	13
	15

NORMAS TÉCNICAS

- Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M y NTP 350.400.
- Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4 y NTP 241.105.



USOS

En la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc.



PRESENTACIÓN

Se comercializa en longitudes de 6 metros. En otras longitudes, solo a pedido del cliente. Se suministra en paquetes de 1 t.



PROPIEDADES MECÁNICAS

Límite de Fluencia mínimo	= 250 MPa (2,530 kg/cm ²)*
Resistencia a la Tracción	= 400 - 550 MPa (4,080 - 5,620 kg/cm ²)*
Alargamiento en 200 mm	= 20.0% mínimo
Dobrado a 180°	= Bueno
Radio mínimo de doblado	= 1,5 veces el espesor
Soldabilidad	= Buena

* Para cuadrados de 9 mm, el Límite de Fluencia mínimo es de 150 MPa y la Resistencia a la Tracción mínima es de 300 MPa.

Barras Cuadradas Ornamentales

DIMENSIONES

Sistema Métrico (mm)

9
13
15



NORMAS TÉCNICAS

• Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M y NTP 350.400.

• Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4 y NTP 241.105.



PRESENTACIÓN

Se comercializa en longitudes de 6 metros. En otras longitudes, solo a pedido del cliente. Se suministra en paquetes de 1 t.

Producto de acero laminado en caliente de sección cuadrada y de lados cóncavos, que lo convierte en un elemento decorativo de gran belleza.



USOS

Se usa en forma recta y torsionada en la fabricación de elementos decorativos de interiores y exteriores, como puertas, ventanas, rejas, escaleras, pasamanos, etc. Asimismo, se usa en la fabricación de elementos forjados.

La calidad del acero facilita el doblado, torsionado, curvado, forjado y soldado sin herramientas especiales.



PROPIEDADES MECÁNICAS

Límite de Fluencia mínimo	= 250 MPa (2,530 kg/cm ²)*
Resistencia a la Tracción	= 400 - 550 MPa (4,080 - 5,620 kg/cm ²)*
Alargamiento en 200 mm	= 20.0% mínimo
Dobrado a 180°	= Bueno
Soldabilidad	= Buena

* Para cuadrados de 9 mm, el Límite de Fluencia mínimo es de 150 MPa y la Resistencia a la Tracción mínima es de 300 MPa.



Tees



DIMENSIONES

Sistema Inglés (pulgadas)	Sistema Métrico (mm)
1 1/4 x 1 1/4 x 1/8	20 x 20 x 3.0
1 1/2 x 1 1/2 x 1/8	25 x 25 x 3.0
1 3/2 x 1 1/2 x 3/16	2 x 2 x 1/4



NORMAS TÉCNICAS

- Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M y NTP 350.400
- Tolerancias Dimensionales: Sistema Inglés: ASTM A6 / A6M y NTP 241.105
- Sistema Métrico: DIN 1024 y NTP 241.105



USOS

En la fabricación de estructuras metálicas para la construcción civil, torres de transmisión, tñerales, carpintería metálica, etc.



PRESENTACIÓN

Se produce en longitudes de 6 metros. Se suministra en paquetes de 1 t.



PROPIEDADES MECÁNICAS

Límite de Fluencia mínimo	= 250 MPa (2,530 kg/cm ²)
Resistencia a la Tracción	= 400 - 550 MPa (4,080 - 5,620 kg/cm ²)
Alargamiento en 200 mm:	
3,0 mm, 1/8" y 3/16"	= 15.0% mínimo
1/4"	= 17.5% mínimo
Soldabilidad	= Buena

Planchas A709 LAC



NORMAS TÉCNICAS

Propiedades mecánicas según ASTM A709 Gr 50 y Dimensiones según ASTM A6/A6M

USOS

Puentes, vigas soldadas, construcción de edificios, gruas puente, equipos mecánicos, material rodante, pilotes, tanques, etc.

PRESENTACIÓN

- Pueden suministrarse sueltas como enzunchadas.
- Las bobinas se suministran completas.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Grado : 50
Límite de Fluencia mínimo ≥ 345 MPa
Carga de rotura ≥ 450 MPa
Elongación $\geq 21\%$ (2"), 18% (8")

(1) Tamaño de probeta.
NORMAS EQUIVALENTES o APROXIMADAS: ASTM A 572/A 572M, ASTM A 588/A 588M Grado A, Grado B, ASTM A 242/A 242M, DIN 17100 St 52-3, EN 10005 S355J0.

DIMENSIONES ESTÁNDAR

milímetros	
6.00	19.00
6.30	20.00
8.00	25.00
8.00	30.00
9.50	32.00
12.00	38.00
12.70	50.00
15.88	63.00
16.00	

Planchas Navales LAC

USOS

Construcción de embarcaciones pesqueras, chatas, pangas, boyas, tanques, tolvas, reparación y mantenimiento, etc.

NORMAS TÉCNICAS

ASTM A131 con certificación equivalente LRS, BV o ABS.

PROPIEDADES MECÁNICAS

ASTM A 131 / A 131M

Grado : A
Límite de Fluencia mínimo ≥ 235 MPa
Carga de rotura $\geq 400 - 520$ MPa
Elongación $\geq 24\%$ (2")
 $\geq 21\%$ (8")

LRS, BV, ABS

Grado : A
Límite de Fluencia mínimo ≥ 235 MPa
Carga de rotura $\geq 400 - 520$ MPa
Elongación $\geq 22\%$ (8")

(1) Tamaño de probeta.
NORMAS EQUIVALENTES o APROXIMADAS: LLOYDS REGISTER OF SHIPPING Grado A (LRS A), BUREAU VERITAS Grado A (BV A) AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS).

PRESENTACIÓN

Pueden suministrarse sueltas como enzunchadas.
Las bobinas se suministran completas.

TOLERANCIAS:

*De acuerdo al JIS G 3193, las demás al ASTM A 6/A 6M

DIMENSIONES ESTÁNDAR

milímetros	
4.50	12.00
4.75	12.50
6.00	12.70
6.35	15.80
6.40	16.00
7.90	19.00
8.00	20.00
9.50	25.00
10.00	25.40



TUBOS

Tubo LAC ASTM A500



Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura de resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

NORMAS TÉCNICAS

Las propiedades mecánicas, dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 - Grados A y B según lo solicitado.

USOS

Diversas estructuras livianas y pesadas, correerías, tijerales, postes, etc.

PRESENTACIÓN

- Longitud:
 - Redondos: 6.40 m y 6 m.
 - Cuadrados y rectangulares: 6 m.
 - Otras longitudes a pedido.
- Acabado de extremos: Refrentado (plano), Empios de rebordes.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Sección	Norma técnica		Grado	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación mínimo
	Del tubo	Del acero				
Redondo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A ASTM A 1011 CS TIPO B	A	228 -	310 ≥ 290	25 ≥ 25
Cuadrado	ASTM A 500/A 500 M ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A ASTM A 1011 CS TIPO B	A	269 -	310 ≥ 290	25 ≥ 25
Rectángulo	ASTM A 500/A 500 M ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A ASTM A 1011 CS TIPO B	B	269 -	310 ≥ 290	25 ≥ 25

(=) Dimensiones y Tolerancias.

DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m																
Designación Nominal	Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)														
		1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	3.0	3.3	4.0	4.5	6.0					
REDONDO	1/4"	13.70	0.53	0.58	0.65											
	3/8"	17.10	0.68	0.75	0.84											
	1/2"	21.30	0.87	0.95	1.08	1.16	1.35									
	3/4"	26.70	1.11	1.22	1.38	1.49	1.75									
	1"	33.40	1.40	1.55	1.76	1.91	2.25									
	1 1/4"	42.20	1.79	1.98	2.26	2.45	2.90									
	1 1/2"	48.30	2.06	2.28	2.61	2.82	3.35	3.66	4.37							
	2"	60.30	2.60	2.88	3.29	3.56	4.24	4.64	5.56							
	≥ 2 1/2"	75.00		3.50		4.35	5.18	5.67	6.81							
	3"	88.90		4.28		5.33	6.36	6.97	8.38							
4"	114.30		5.54		6.90	8.24	9.04	10.88								
CUADRADO	-	25 x 25	1.06		1.46											
	-	30 x 30	1.30		1.70											
	-	40 x 40	1.78		2.24		3.32									
	-	50 x 50	2.25		3.12		3.87	4.32								
	-	75 x 75		3.12		3.87	4.32									
-	100 x 100		4.50		5.56	6.81										
-			6.17		7.68	9.17			12.13	13.59	16.98					

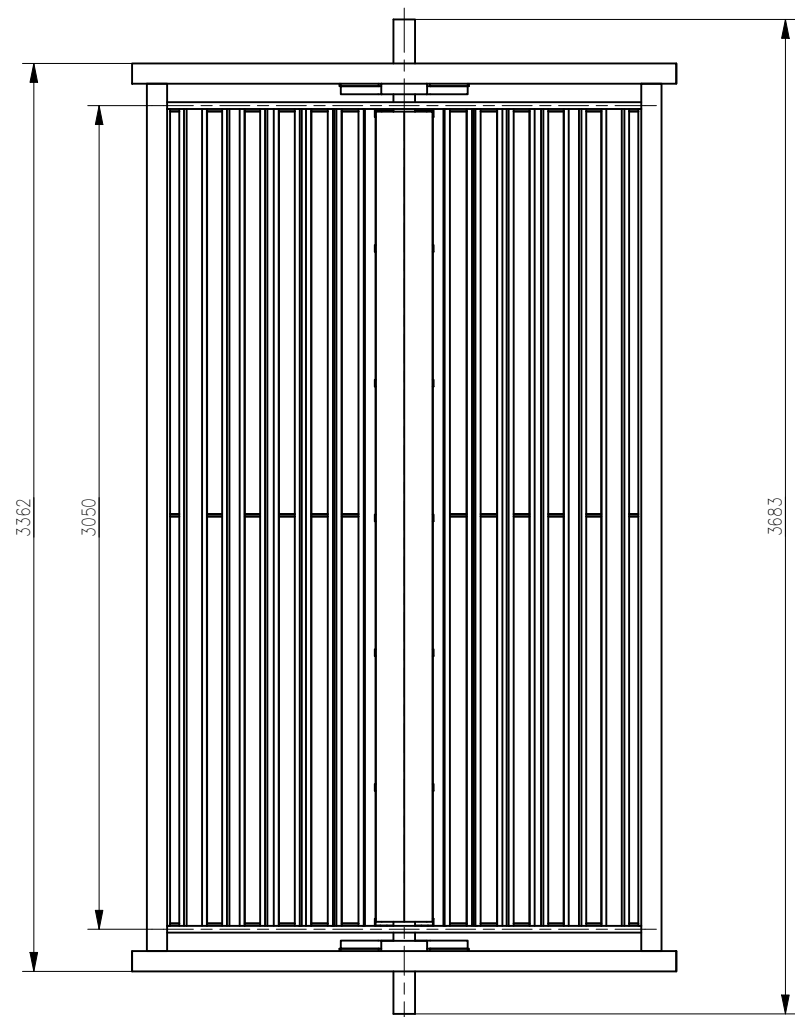
(=) Dimensiones y Tolerancias.

SISTEMA INGLÉS															
Designación Nominal	Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)													
		1.8	2.0	2.3	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0						
REDONDO	1"	-	1.36	1.50	1.70	1.84	2.17								
	1 1/4"	-	1.71	1.90	2.16	2.34	2.77								
	1 1/2"	-	2.07	2.29	2.62	2.84	3.37								
	2"	-	2.79	3.09	3.54	3.83	4.56	5.99							
	3"	-	4.69	5.37	5.83	6.96	9.18								
4"	-	6.28		7.82	9.35	12.37	13.86								
CUADRADO	1" x 2"	-	2.10	2.32		4.87	5.81								
	2" x 3"	-	3.54	3.92		5.85	6.98	9.21	10.31						
	2" x 4"	-	4.71			7.89	9.43	12.48	13.98						
	2" x 6"	-	6.34												
4" x 10"	-														34.60

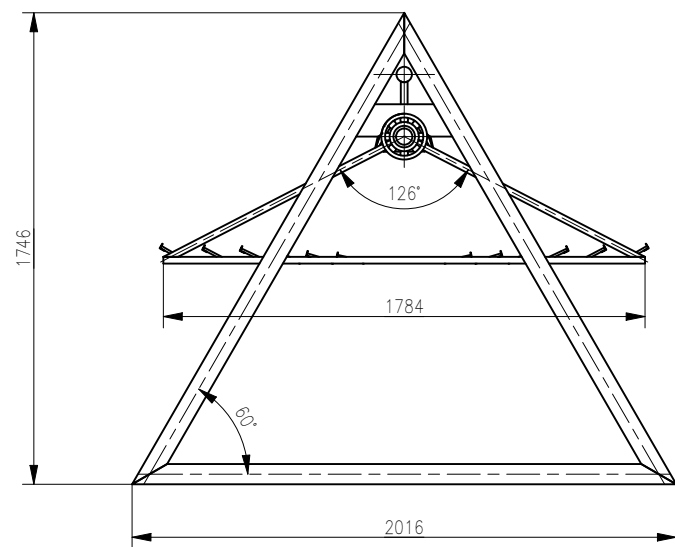
SISTEMA MÉTRICO												
Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)											
	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0	8.0	10.0	12.0	
REDONDO	25	1.12	1.31	1.47	1.81							
	30		1.62	1.78								
	38		2.07	2.28	2.83	3.36						
	40		2.18	2.41	2.99	3.55						
	50		2.75	3.04	3.77	4.49		6.57	8.53			
	75			4.61	5.73	6.84	9.03	10.10	13.24			
	80			4.93	6.13	7.31	9.65	10.81				
	100			6.18	7.70	9.20	12.17	13.63	17.95			
	125				11.55		17.16	22.66				
	150				13.91		20.70	27.37	36.10	44.64		
200				18.62		27.76	36.79	48.66	60.34			
250						34.83	46.21	61.22	76.04			
300							73.79	91.74	109.49			
400								123.14	147.38			
CUADRADO	20 x 40	1.36		1.70								
	25 x 50	1.65	2.04	2.26								
	40 x 50		2.46	2.73								
	40 x 60	2.26	2.75	3.03	3.60	4.25						
	40 x 80	2.71		3.66	4.39	5.19						
	50 x 70			3.67	4.56	5.43						
	50 x 75				5.42							
	50 x 100		4.16	4.50	5.56	6.60	8.99	10.10	13.24			
	50 x 150			6.17	7.68	9.17	11.73	13.63	17.95			
	150 x 100				9.66	11.55	15.31	17.16	22.66			
200 x 100				13.91	18.45	20.70	27.37	36.10	44.54			
200 x 150				16.26	21.99	24.23	32.08	42.38	52.49			
250 x 100						24.23	32.08	42.38	52.49			
250 x 150						27.76	36.79	48.66	60.34			
300 x 200							46.21	61.22	76.04	90.65		
400 x 200								91.74	109.49			
500 x 300									123.14	147.38		

Anexo 7:
Ingeniería de detalle

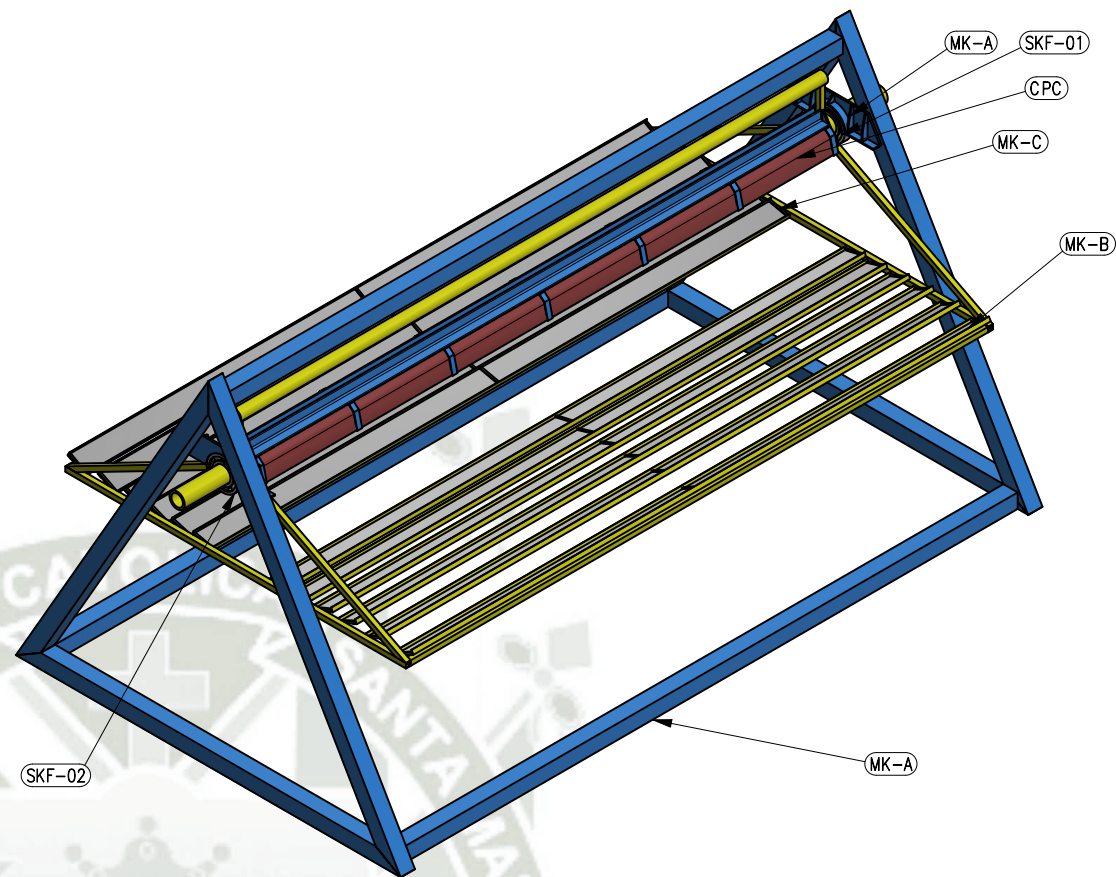




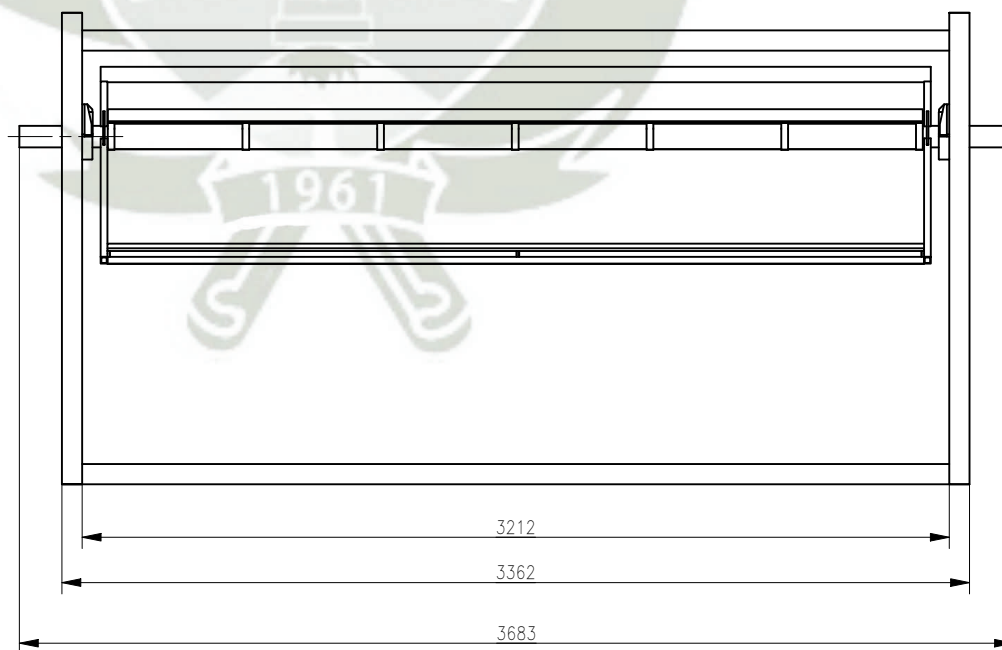
V. SUPERIOR/ PLANOS
Esc. 1/28



V. FRONTAL/ PLANOS
Esc. 1/28



V. / PLANOS
Esc. 1/28



V. LATERAL/ PLANOS
Esc. 1/28

MK-01 / 01 UND. / LISTA PARA 01			
CODIGO	MATERIAL	CANT.	MASS
MK-A	ENSAMBLE-ESTRUCTURA SOPORTE ASTM A-36	1	278,21 kg
MK-B	REFLECTOR FRESNEL ASTM A-36	1	143,42 kg
MK-C	ENSAMBLE ESPEJOS	1	39,21 kg
SKF-01	RODAMIENTO SKF	1	3,55 kg
SKF-02	RODAMIENTO SKF	1	3,55 kg
CPC	CONCENTRADOR SECUNDARIO	1	36,9 kg

ESPECIFICACIONES TECNICAS

ACERO:

-PLANCHAS Y PERFILES LAMINADOS, ASTM A-36 $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$

SOLDADURA Y CONEXIONES:

-ELECTRODOS CELULOSICOS E60, SEGUN AWS A5.1 $F_u = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 -PERNOS ASTM A-325 $F_u = 4200 \text{ kg/cm}^2$

PINTURA:

-ARENADO: SSPC SP 6
 -PINTURA EPOXICA, COLOR, A 6 MILS.

NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES EN MILIMETROS.
2. SE DISEÑO LA ESTRUCTURA USANDO ASTM A-36 COMO MATERIAL BASE.

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

APROBADO 02-Sep-22	
DISEÑADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
DIBUJADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
REVISADO POR: J.S.V.	FECHA: 02-Sep-22
APROBADO POR: UCSM	FECHA: 02-Sep-22

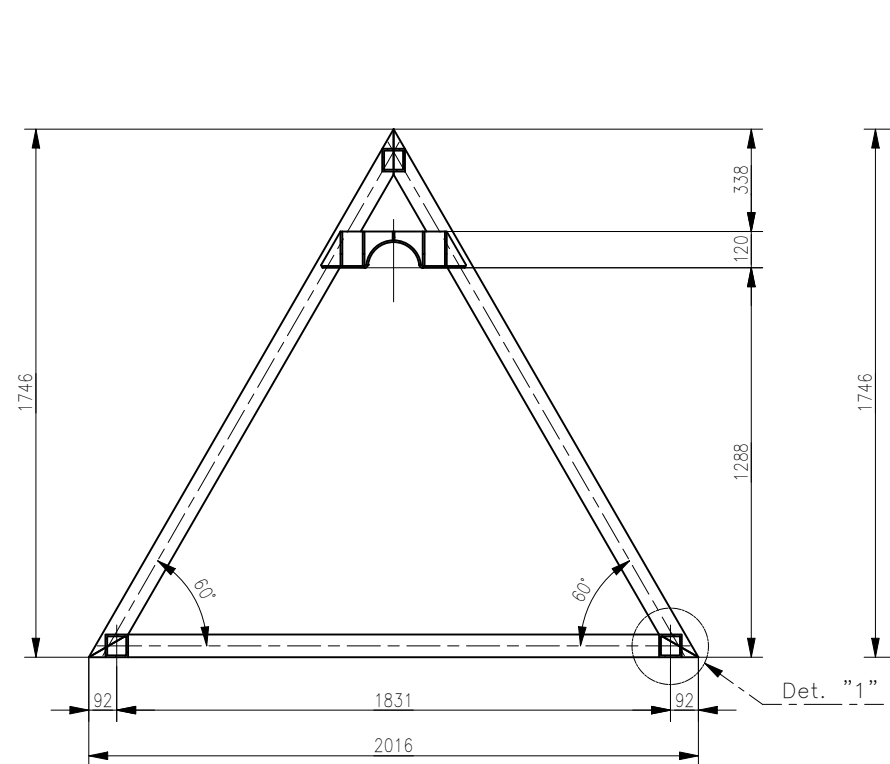

Universidad Católica de Santa María
 AREQUIPA - PERU
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
 MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

PLANO
 DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL
 ROTATORIO DE USO DOMESTICO E INDUSTRIAL
 PLANOS GENERALES

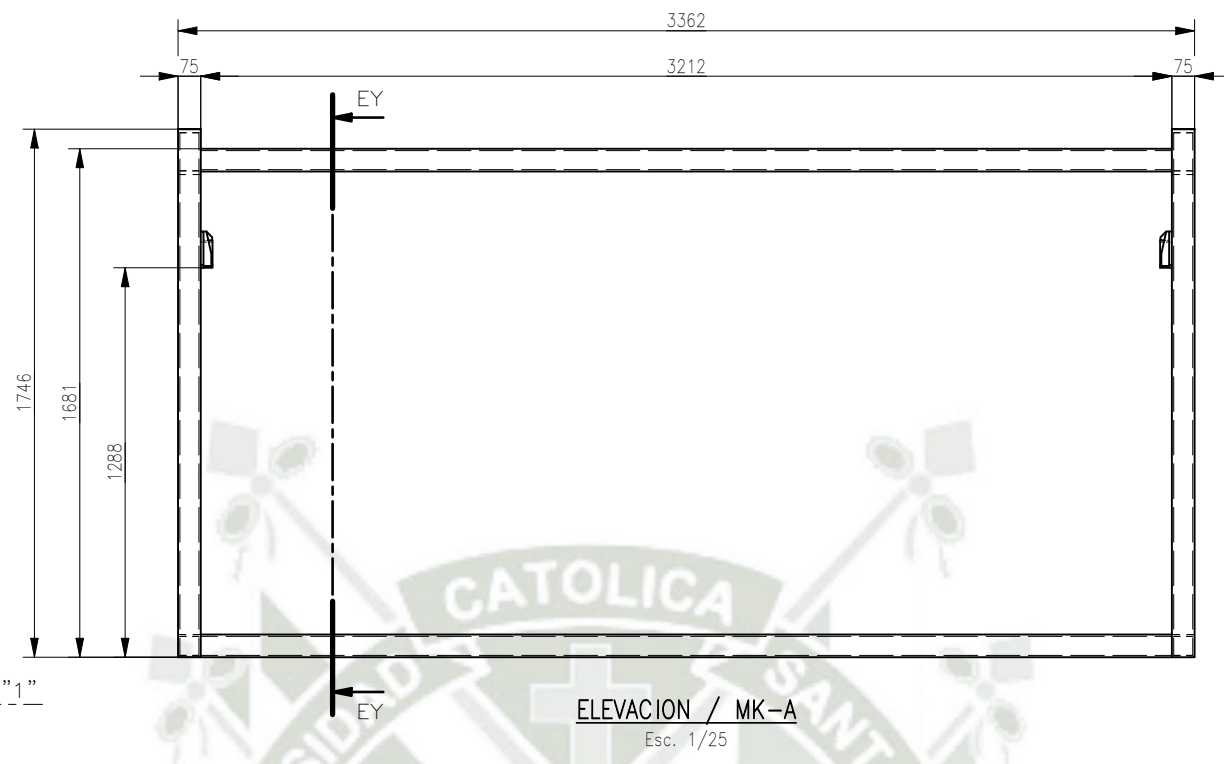
ESCALA INDICADA
 NUMERO DE PLANO
 UCSM//EPI-MEC-01//1

ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD PRIVADA. SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

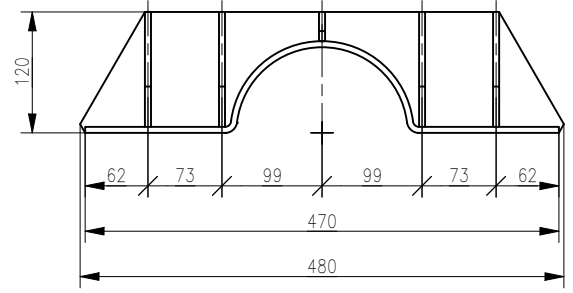




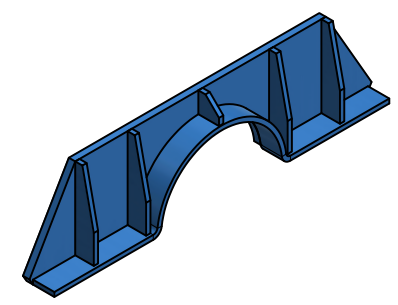
SECCION EY-EY
Esc. 1/25



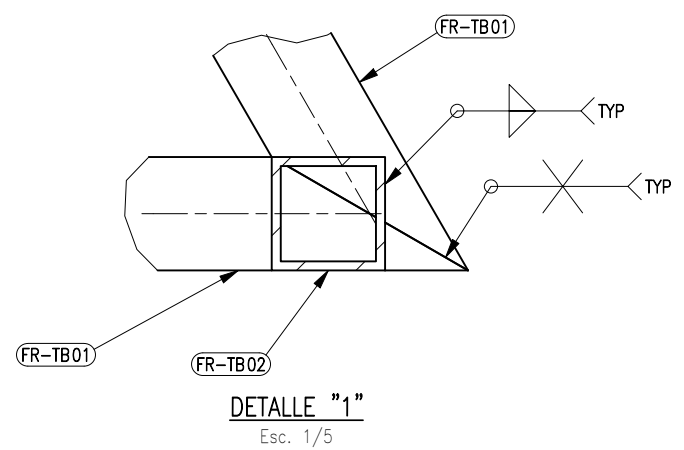
ELEVACION / MK-A
Esc. 1/25



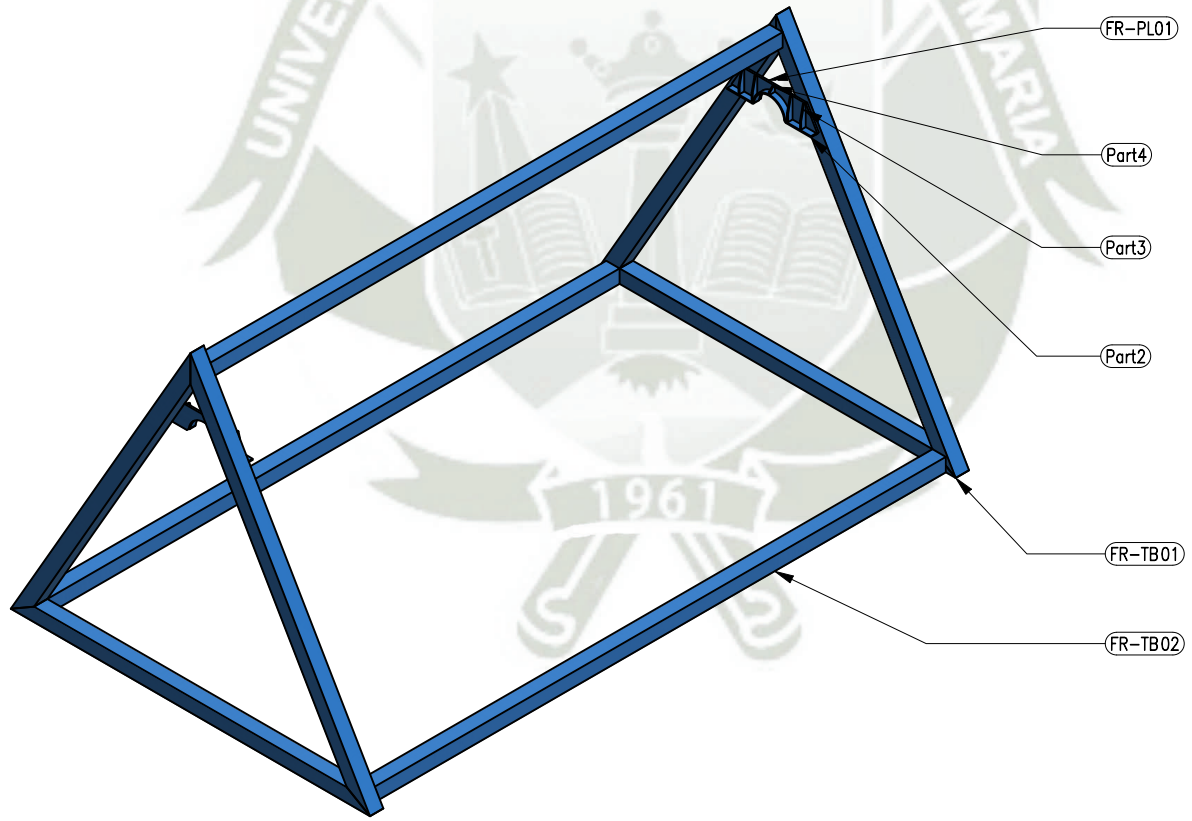
V. FRONTAL/ MK-D
Esc. 1/7.5



ISOMETRICO/ MK-D
Esc. 1/7.5



DETALLE "1"
Esc. 1/5



V. / MK-A
Esc. 1/30

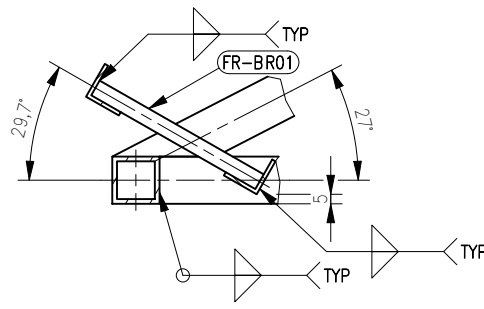
MK-A/ 01 UND. / LISTA PARA 01			
CODIGO	MATERIAL	CANT.	MASS
FR-TB02	TUBO CUADRADO ASTM A-36	3	41,755 kg
FR-TB01	TUBO CUADRADO ASTM A-36	6	24,519 kg
FR-PL01	PL. 6 mm ASTM A-36	2	2,752 kg
Part2	PL. 6 mm ASTM A-36	2	0,1 kg
Part3	PL. 6 mm ASTM A-36	8	0,014 kg
Part4	PL. 6 mm ASTM A-36	2	0,004 kg

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

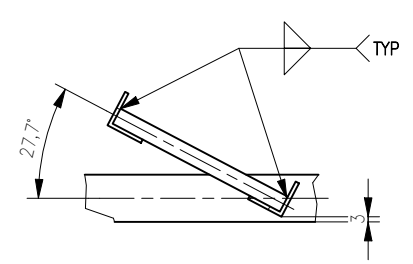
APROBADO 02-Sep-22	
DISEÑADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
DIBUJADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
REVISADO POR: J.S.V.	FECHA: 02-Sep-22
APROBADO POR: UCSM	FECHA: 02-Sep-22


Universidad Católica de Santa María
 AREQUIPA - PERU
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
 MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA
 PLANO
 DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL
 ROTATORIO DE USO DOMESTICO E INDUSTRIAL
 ESCALA INDICADA
 NUMERO DE PLANO
 UCSM//EPI MEC-01//2

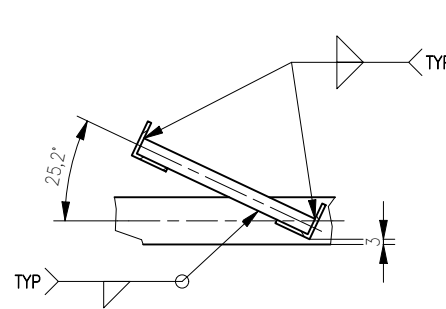
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD PRIVADA. SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.



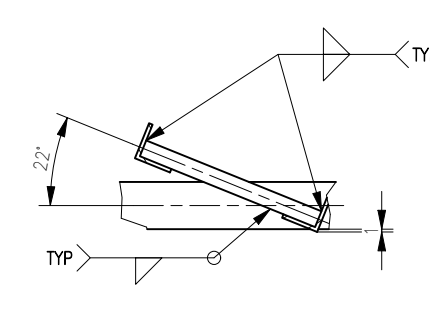
DETALLE "C-1"
Esc. 1/4



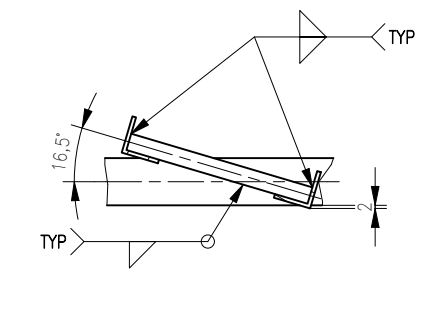
DETALLE "C-2"
Esc. 1/4



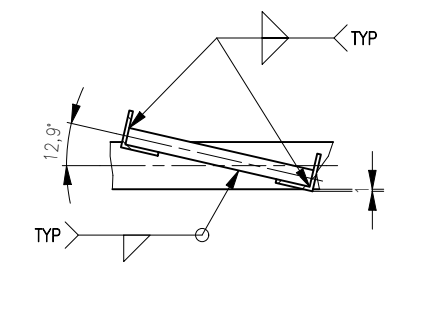
DETALLE "C-3"
Esc. 1/4



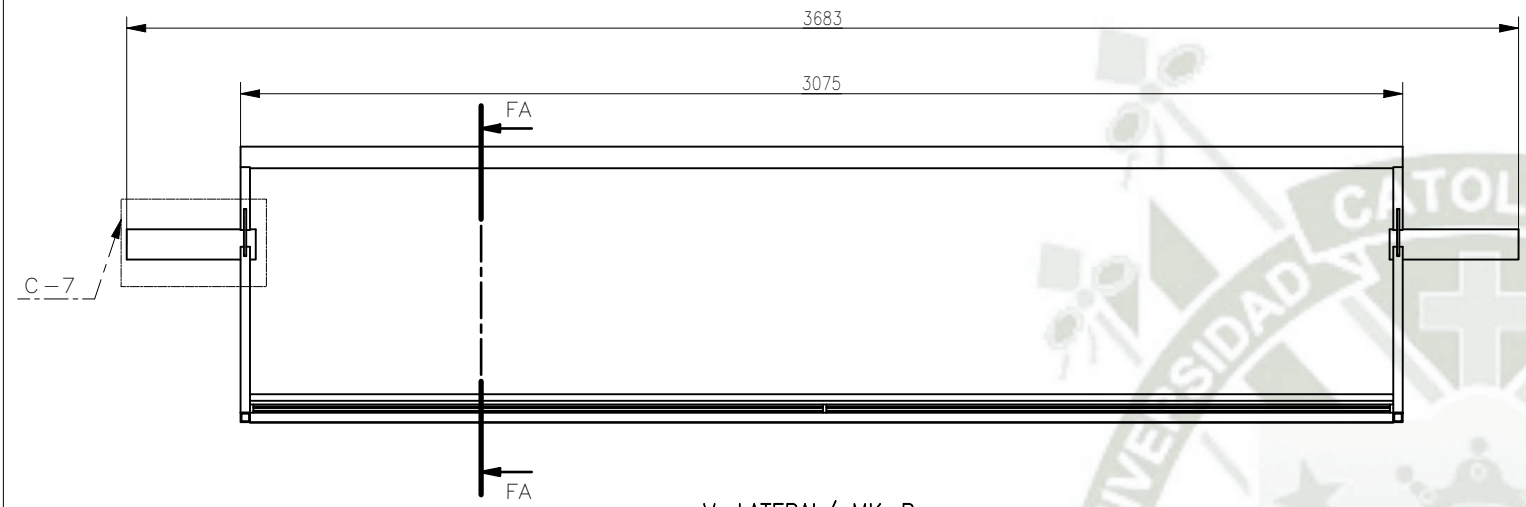
DETALLE "C-4"
Esc. 1/4



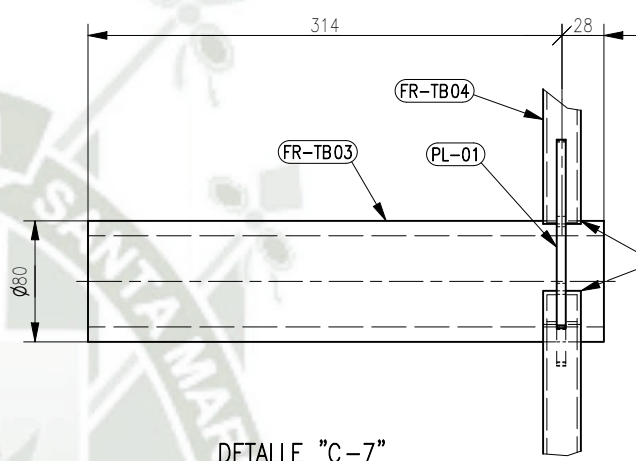
DETALLE "C-5"
Esc. 1/4



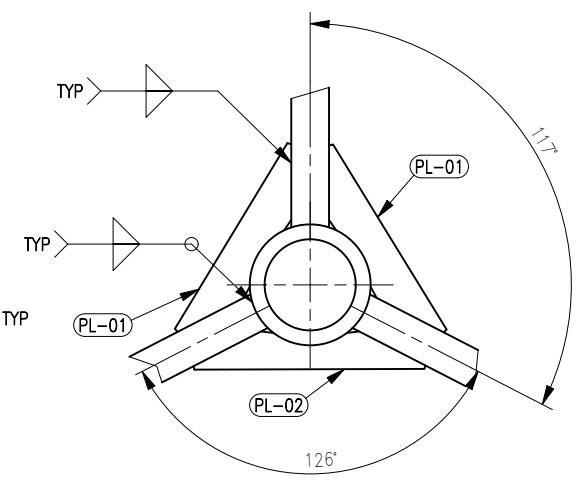
DETALLE "C-6"
Esc. 1/4



V. LATERAL/ MK-B
Esc. 1/20



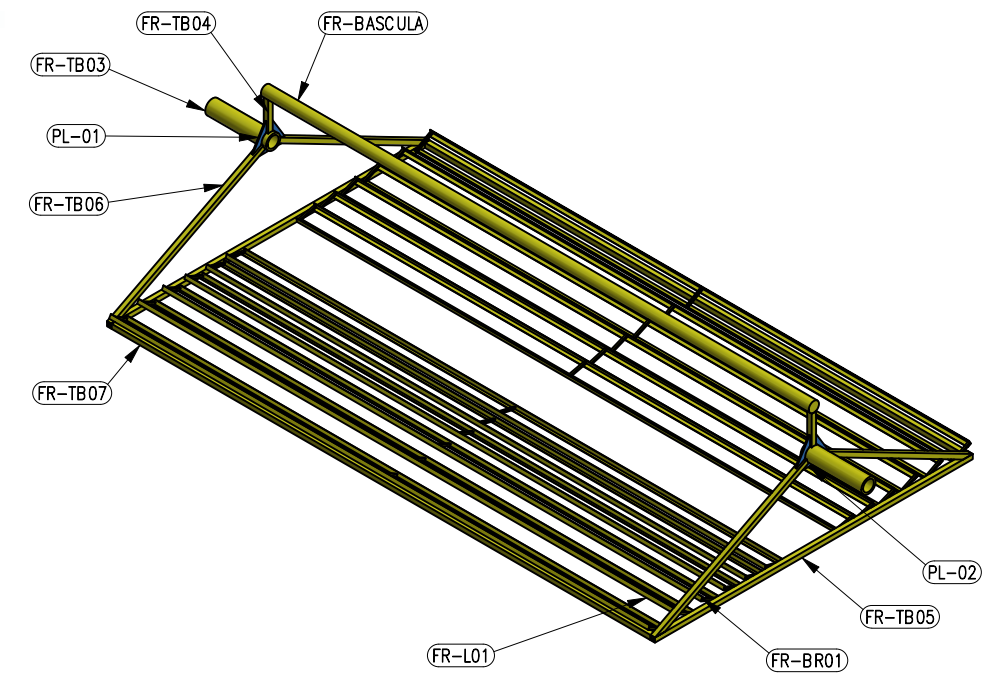
DETALLE "C-7"
Esc. 1/5



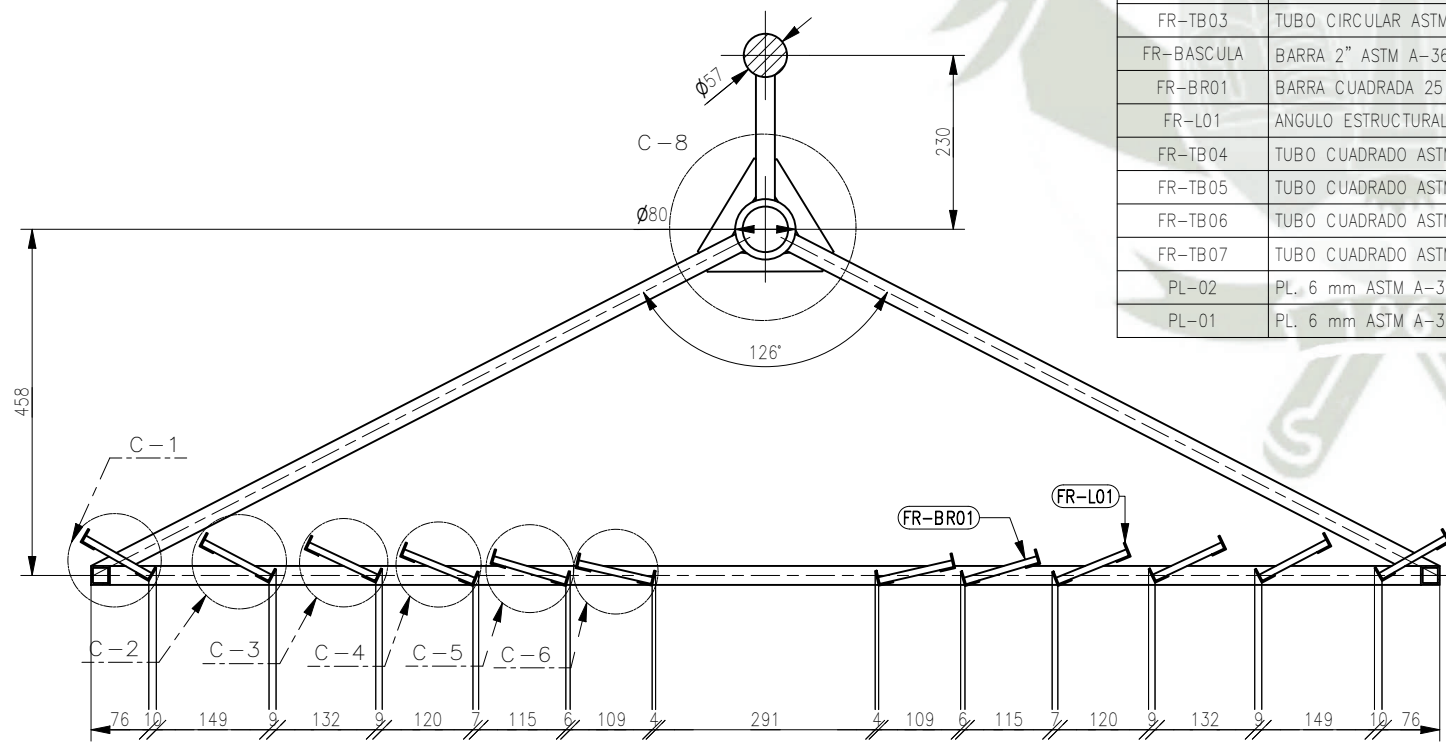
DETALLE "C-8"
Esc. 1 : 5

MK-B / 01 UND. / LISTA PARA 01

CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-TB03	TUBO CIRCULAR ASTM A-36	2
FR-BASCULA	BARRA 2" ASTM A-36	1
FR-BR01	BARRA CUADRADA 25 mm ASTM A-36	36
FR-L01	ANGULO ESTRUCTURAL ASTM A-36	24
FR-TB04	TUBO CUADRADO ASTM A-36	2
FR-TB05	TUBO CUADRADO ASTM A-36	2
FR-TB06	TUBO CUADRADO ASTM A-36	4
FR-TB07	TUBO CUADRADO ASTM A-36	2
PL-02	PL. 6 mm ASTM A-36	2
PL-01	PL. 6 mm ASTM A-36	4



ISOMETRICO/ MK-B
Esc. 1/30



SECCION FA-FA
Esc. 1/10

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

APROBADO
02-Sep-22

DISEÑADO POR:
E.A.V.A

DIBUJADO POR:
E.A.V.A

REVISADO POR:
J.S.V.

APROBADO POR:
UCSM

FECHA:
02-Sep-22

FECHA:
02-Sep-22

FECHA:
02-Sep-22

FECHA:
02-Sep-22

ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD PRIVADA. SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

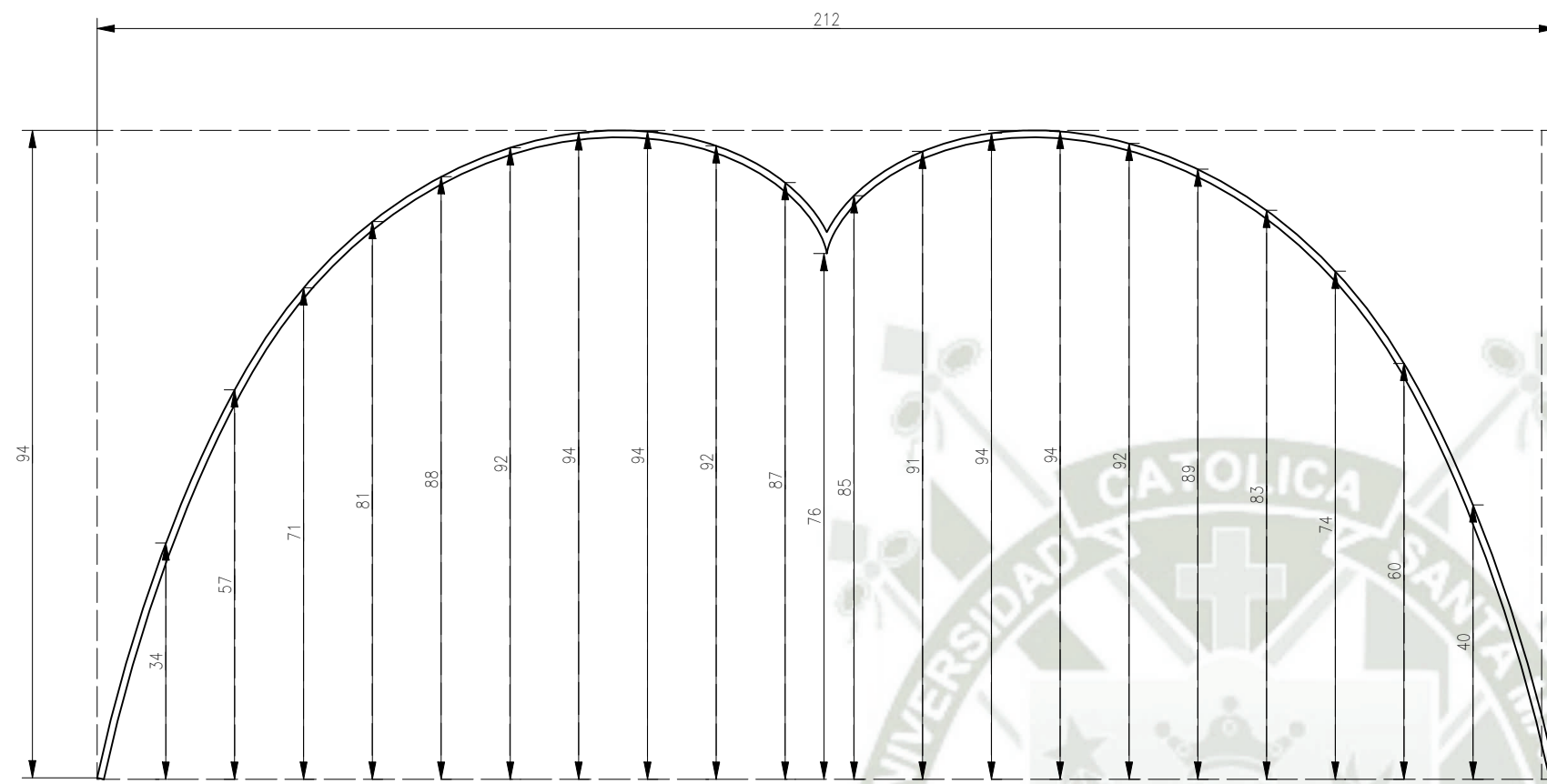
Universidad Católica de Santa María

AREQUIPA - PERU
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

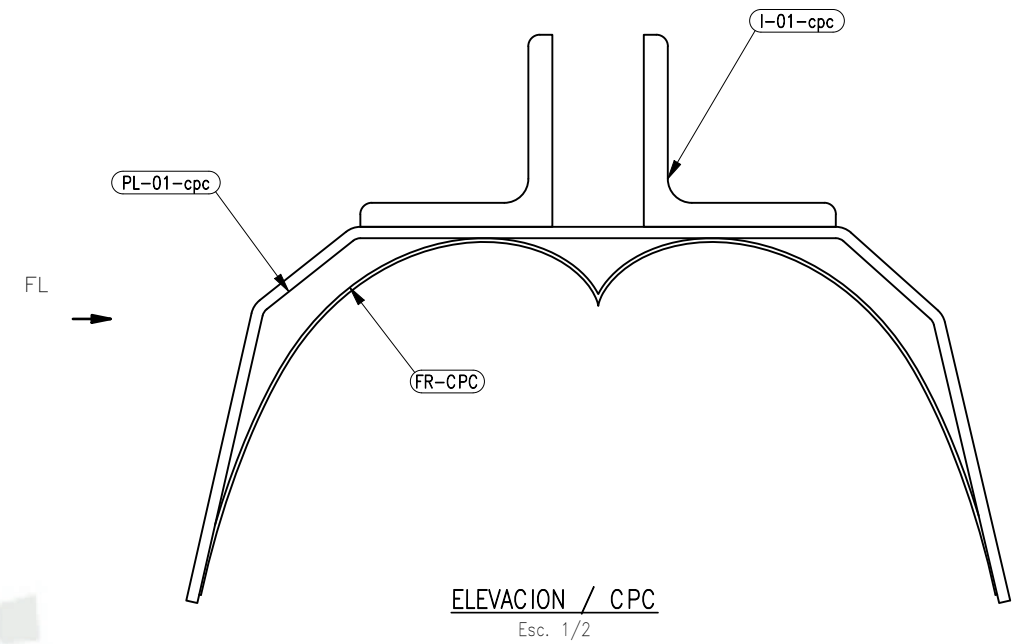
PLANO
DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL ROTATORIO DE USO DOMESTICO E INDUSTRIAL

ESCALA INDICADA

NUMERO DE PLANO
UC SM//EPIMEC-01//3



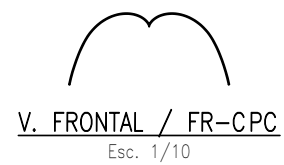
V. FRONTAL/ FR-CPC
Esc. 1



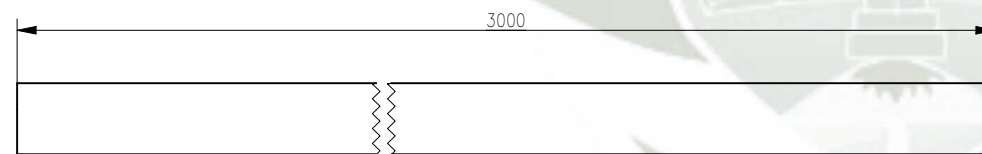
ELEVACION / CPC
Esc. 1/2



SECCION FL-FL
Esc. 1/30



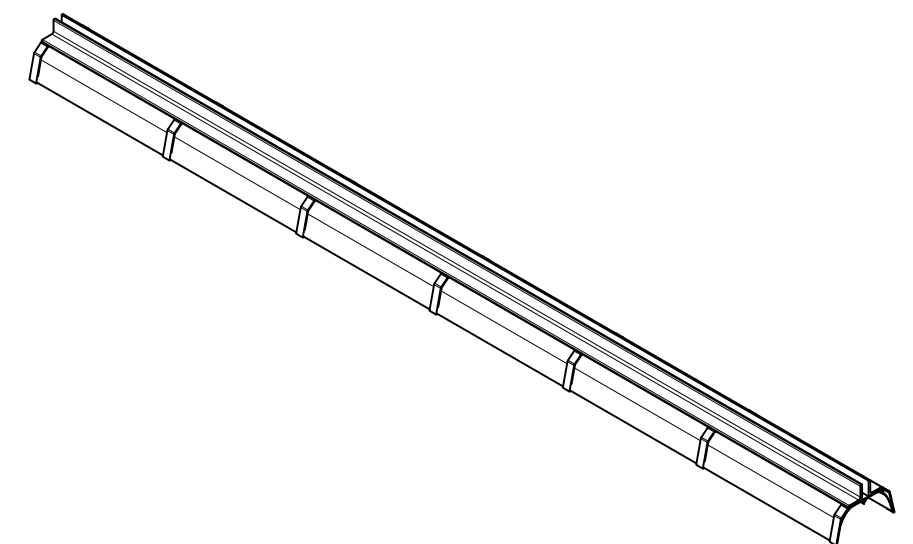
V. FRONTAL / FR-CPC
Esc. 1/10



V. LATERAL/ FR-CPC
Esc. 1/10

NOTA:
-LA FABRICACION DE ESTA PIEZA DEBERÁ SER MEDIANTE UN ROLADO SIGUIENDO LAS DIMENSIONES ESPECIFICADAS EN LAS VISTAS DE DETALLE.

FR-CPC / 01 UND. / LISTA PARA 01		
CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-CPC	CONCENTRADOR SECUNDARIO FRESNEL	1
PL-01-cpc	Platina 1"x3/8" ASTM A-36	7
I-01-cpc	Angulo L 2 x 2 x 1/4 " ASTM A-36	2



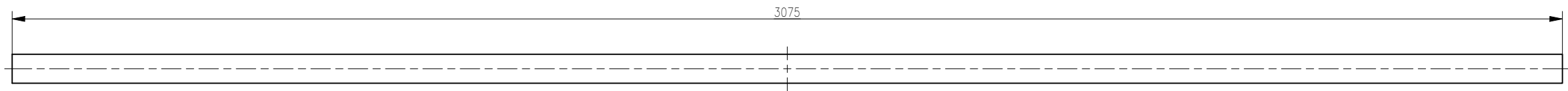
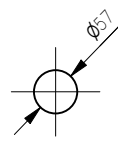
V. / CPC
Esc. 1/20

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

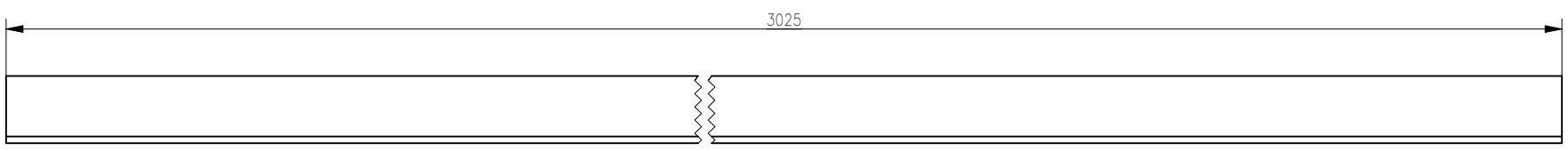
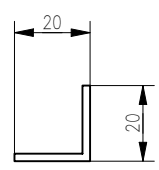
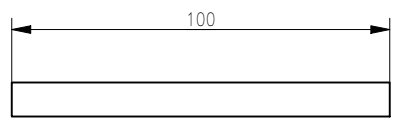
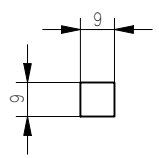
APROBADO 02-Sep-22	
DISEÑADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
DIBUJADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
REVISADO POR: J.S.V.	FECHA: 02-Sep-22
APROBADO POR: UCSM	FECHA: 02-Sep-22


Universidad Católica de Santa María
 AREQUIPA - PERU
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
 MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA
 PLANO
 DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL
 ROTATORIO DE USO DOMESTICO E INDUSTRIAL
 ESCALA INDICADA
 NUMERO DE PLANO
 UCSM//EPI MEC-01//4

ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD PRIVADA. SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

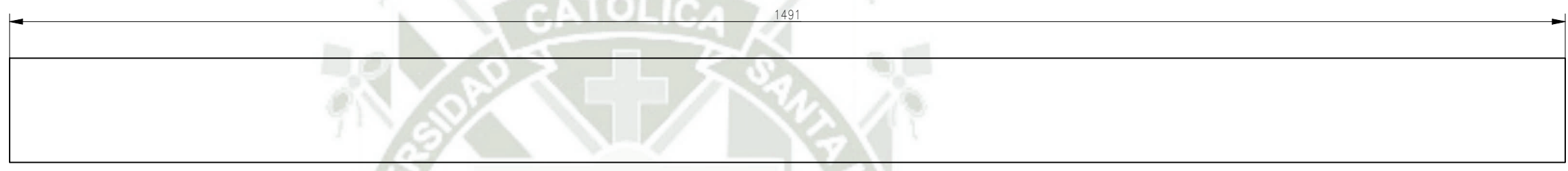
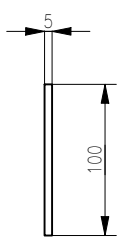


CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-BASCULA	BARRA 2" ASTM A-36	1

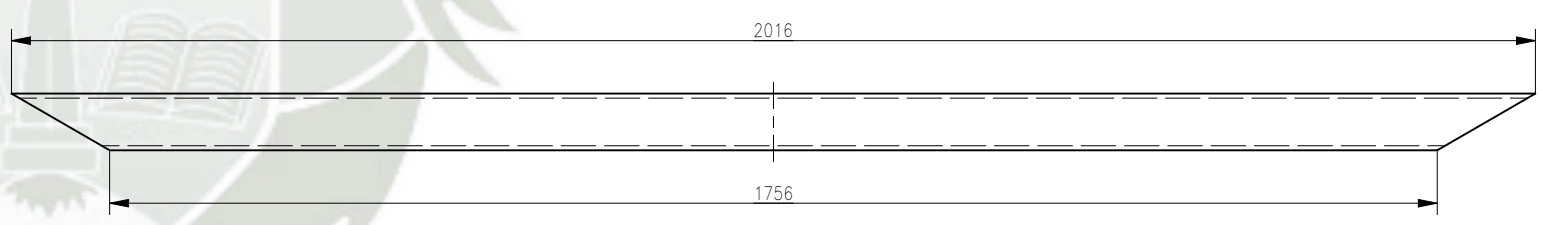
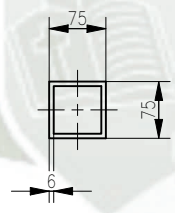
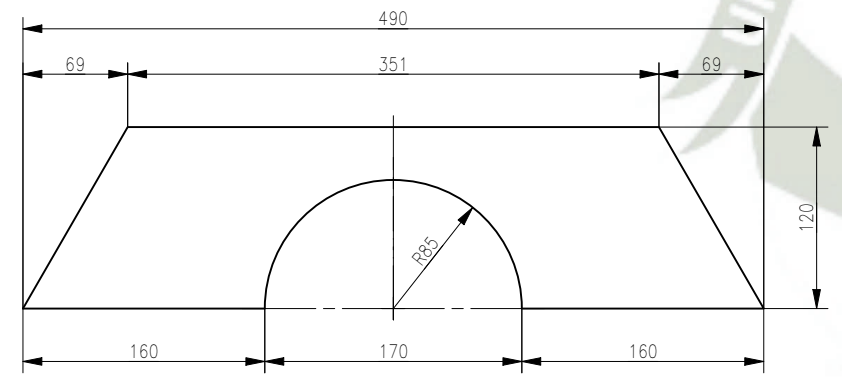
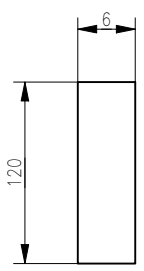


CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-BR01	BARRA CUADRADA 25 mm ASTM A-36	1

CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-L01	ANGULO ESTRUCTURAL ASTM A-36	1

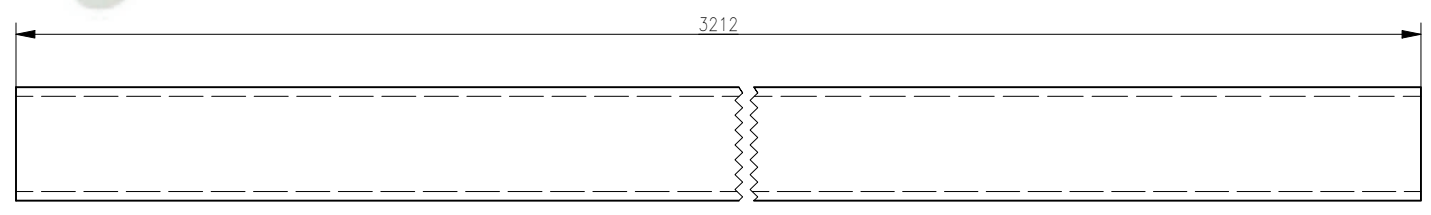
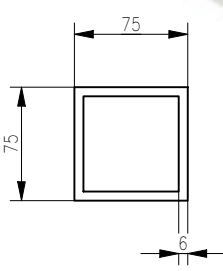
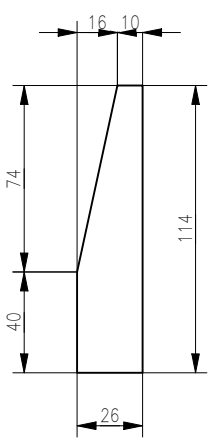
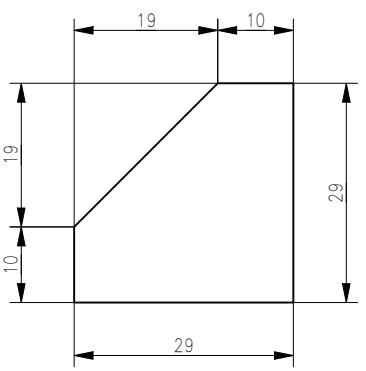


CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-MI01	ESPEJO	1



CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-PL01	PL. ASTM A-36	1

CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-TB01	TUBO CUADRADO ASTM A-36	1



CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-TB02	TUBO CUADRADO ASTM A-36	1

MK-01 / 01 UND. / LISTA PARA 01		
CODIGO	MATERIAL	CANT.
Part4	PL. 6 mm ASTM A-36	1

MK-01 / 01 UND. / LISTA PARA 01		
CODIGO	MATERIAL	CANT.
Part3	PL. 6 mm ASTM A-36	1

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

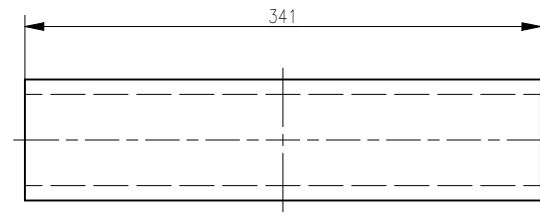
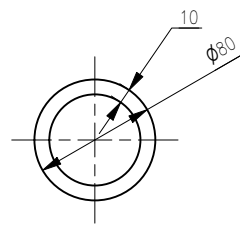
APROBADO 02-Sep-22	
DISEÑADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
DIBUJADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
REVISADO POR: J.S.V.	FECHA: 02-Sep-22
APROBADO POR: UCSM	FECHA: 02-Sep-22

Universidad Católica de Santa María
 AREQUIPA - PERU
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
 MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA
 PLANO
 DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL
 ROTATORIO DE USO DOMESTICO E INDUSTRIAL

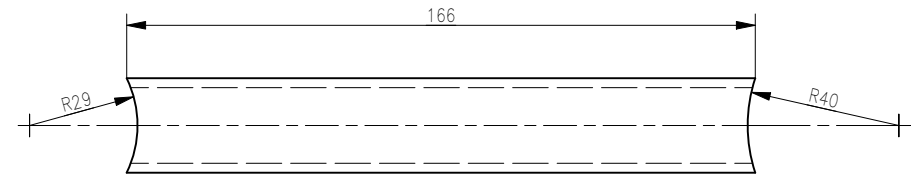
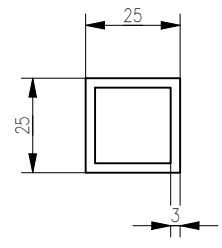
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD PRIVADA. SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

ESCALA EN PULGADAS 1/8" = 1"

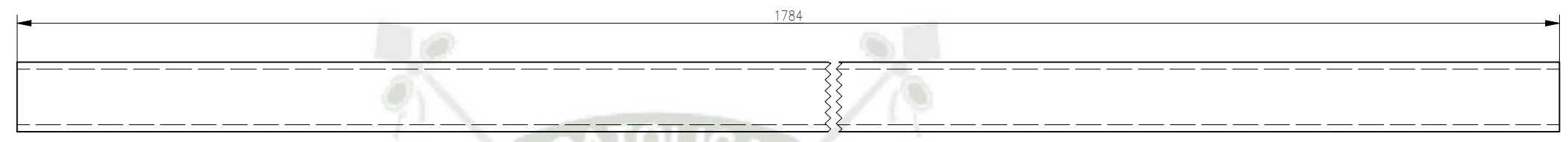
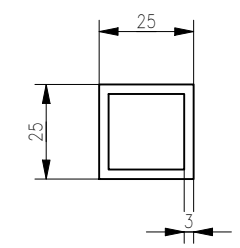
ESCALA METRICA 1:20



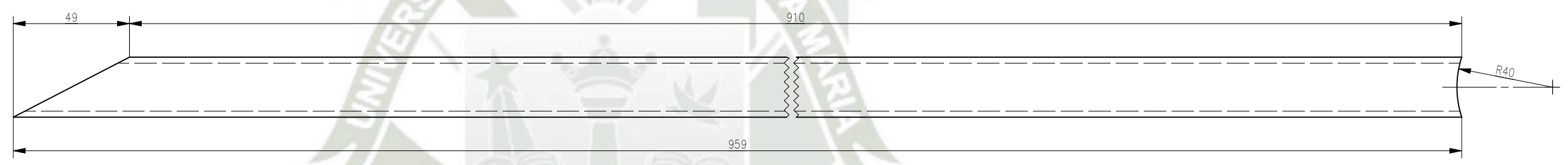
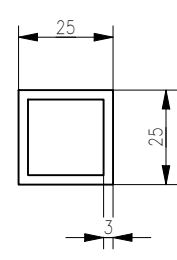
CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-TB03	TUBO CIRCULAR ASTM A-36	1



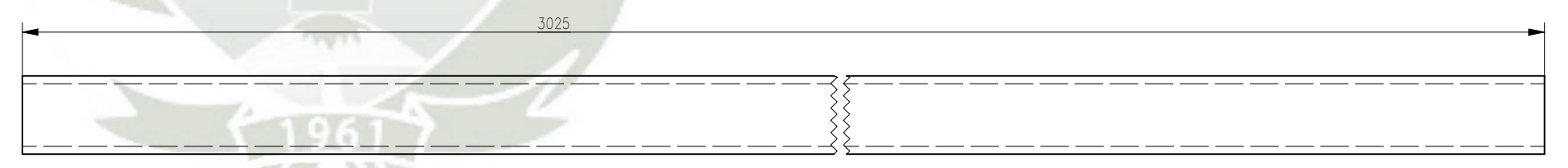
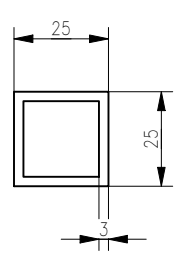
CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-TB04	TUBO CUADRADO ASTM A-36	1



CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-TB05	TUBO CUADRADO ASTM A-36	1



CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-TB06	TUBO CUADRADO ASTM A-36	1



CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-TB07	TUBO CUADRADO ASTM A-36	1

CONCENTRADOR FRESNEL LINEAL / 01 UND. / LISTA PARA 01

CODIGO	MATERIAL	CANT.
FR-BASCULA	BARRA 2" ASTM A-36	1
FR-BR01	BARRA CUADRADA 25 mm ASTM A-36	36
FR-CPC	CONCENTRADOR SECUNDARIO FRESNEL	1
FR-L01	ANGULO ESTRUCTURAL ASTM A-36	24
FR-MI01	ESPEJO	24
FR-PL01	PL. 6 mm ASTM A-36	2
FR-TB01	TUBO CUADRADO ASTM A-36	6
FR-TB02	TUBO CUADRADO ASTM A-36	3
FR-TB03	TUBO CIRCULAR ASTM A-36	2
FR-TB04	TUBO CUADRADO ASTM A-36	2
FR-TB05	TUBO CUADRADO ASTM A-36	2
FR-TB06	TUBO CUADRADO ASTM A-36	4
FR-TB07	TUBO CUADRADO ASTM A-36	2
skf-01	RODAMIENTO SKF	1
skf-02	RODAMIENTO SKF	1
PL-01	PL. 6 mm ASTM A-36	4
Part2	PL. 6 mm ASTM A-36	2
Part3	PL. 6 mm ASTM A-36	8
Part4	PL. 6 mm ASTM A-36	2
PL-01-cpc	Platina 1"x3/8" ASTM A-36	7
l-01-cpc	Angulo L 2 x 2 x 1/4 " ASTM A-36	2
PL-02	PL. 6 mm ASTM A-36	2

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

APROBADO 02-Sep-22	
DISEÑADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
DIBUJADO POR: E.A.V.A	FECHA: 02-Sep-22
REVISADO POR: J.S.V.	FECHA: 02-Sep-22
APROBADO POR: UCSM	FECHA: 02-Sep-22


Universidad Católica de Santa María
 AREQUIPA - PERU
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
 MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA
 PLANO
 DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL
 ROTATORIO DE USO DOMESTICO E INDUSTRIAL

ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD PRIVADA. SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.