



Diseño de un sistema estructural electromecánico para un seguidor solar didáctico de paneles fotovoltaicos.

Rafael Gustavo Luna Caffroni

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena, Colombia
2020

Diseño de un sistema estructural electromecánico para un seguidor solar didáctico de paneles fotovoltaicos

Rafael Gustavo Luna Caffroni

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director:

Bashir Yacub Bermúdez

Maestría en Educación

Especialista en Administración de empresas

Ingeniero electrónico

Línea de Investigación:

El proyecto se ubica dentro de las líneas de diseño mecánico e ingenieril

Grupo de Investigación:

Energías renovables y alternativas

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2020

(Dedicatoria o lema)

Principalmente, a Dios, por obsequiarnos la vida, dotarme de bendición y regalarme sabiduría, para lograr ese desempeño a través del desarrollo y entendimiento de cuán importante es esta etapa de mi vida; a él, le debemos el entendimiento, la lógica y el sentido común, lo cual trazará, una diferencia notable en mi vida.

A todos los docentes, los cuales han venido trazando mi línea de vida, desde inicios de mi carrera, contando incondicionalmente con cada uno de ellos en su especialidad.

A mi familia, principalmente por su tolerancia, incondicional apoyo y compañía, esperando quizás ansiosos, de ver el fruto, de todo el esfuerzo que, con sus ayudas, vamos a poder lograr.

A esos amigos y compañeros, que siempre se preocuparon por ayudarnos en todo momento, por brindarnos ánimo, para lograr juntos esos objetivos trazados de vida.

Agradecimientos

Como autor, expreso mi agradecimiento a:

La Universidad Antonio Nariño y a la facultad de Ingeniería, por brindarme la oportunidad de permitir mi formación profesional.

A la Universidad Antonio Nariño, por abrirme las puertas para mi desarrollo personal, por permitir el desarrollo de mi trabajo de grado, en su campus y plataformas virtuales.

A los jurados del proyecto, al docente asignado **Julio Cesar Arrieta Pastrana**, al director de proyecto **Bashir Yacub Bermúdez**, al profesor **Juan Vicente Cajal**, por su colaboración en directrices respecto al programa, a todos por su dedicación, correcciones, y en general, el tiempo empleado en la elaboración del presente trabajo.

Resumen

El presente trabajo de grado, tiene como objetivo principal, diseñar un sistema estructural electromecánico para un seguidor solar de paneles fotovoltaicos, regidos bajo una serie de recursos y métodos básicos de mecánica, logrando diversos cálculos que conlleven a la elaboración digital de las piezas, empleando en un software de diseño asistido por computadora (computer-aided design “CAD”); en la plataforma “SolidEdge st10”.

Se realizan los cálculos de la estructura, lo cual permite seleccionar los componentes móviles y fijos necesarios para el diseño, y a la vez, compararlos con los dispuestos en el mercado, para así proponer facilidad de acceso a las piezas mecánicas y los motores requeridos, con finalidades de sugerencia a futuras implementaciones.

El sistema estructural electromecánico consta de movimientos individuales en dos ejes, los cual va a permitir mayor capacidad de apertura y movimiento de acuerdo a la posición que se requiera. Dichos movimientos serán apreciados mediante “renders” o simulaciones, exportadas por el software.

Palabras clave: Renders, seguidor solar, fotovoltaicos, diseñar, estructural electromecánico, CAD.

Abstract

The main objective of this undergraduate project is to design an electromechanical structural system for a photovoltaic panel solar tracker, governed by a series of resources and basic mechanical methods, achieving various calculations that lead to the digital elaboration of the pieces, using in computer-aided design (CAD) software; on the "SolidEdge st10" platform.

The structure calculations are performed, which allows selecting the mobile and fixed components necessary for the design, and at the same time, comparing them with those available in the market, in order to propose easy access to the required mechanical parts and motors, with Suggestion purposes for future implementations.

The electromechanical structural system consists of individual movements on two axes, which will allow greater opening and movement capacity according to the required position. These movements will be appreciated through "renders" or simulations, exported by the software.

Key words: Design, solar tracker, photovoltaic, electromechanical structural, CAD, renders.

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de figuras	IX
Lista de tablas	X
Introducción	11
1. Marco teórico	14
Breve introducción al diseño	14
Paneles solares y variaciones	15
Consideraciones de los elementos	18
Momento de torsión.....	18
Momento flector	20
Software de simulaciones “CAD”	22
Rodamientos mecánicos	22
2. Cálculos del diseño	24
Eje de soporte de los paneles	26
Cálculos de pedestal	32
Cálculo de anclaje de conjunto superior	35
Cálculos de motores.....	36
3. Diseño de piezas en Software y simulaciones	39
Panel fotovoltaico	39
Rodamiento rígido de bolas.....	41
Rodamiento de hileras de rodillos cónicos.....	41
Acople Pedestal y soporte base	43
Cabezal de superior y soporte de paneles.....	44
Piezas individuales en CAD	47
Simulaciones.....	48
4. Conclusiones y recomendaciones	51
Conclusiones.....	51
Recomendaciones.....	52
Anexo A: Especificaciones técnicas de los rodamientos	54
Anexo B: Planos de motor	57

Anexo C: Especificaciones del AISI 1020.....	58
Anexo D: Sesión de archivos de Solid Edge.....	59
5. Bibliografía.....	60

Lista de figuras

Figura 1-1: “Paneles solares a diferentes grados”	17
Figura 1-2: “torsión”	18
Figura 1-3: “diagrama de cuerpo libre de una viga”	20
Figura 1-4: “momento flector vigas”	21
Figura 1-5: “partes de un rodamiento”	23
Figura 1-6: “visualización de un rodamiento”	23
Figura 2-7: “Panel Solar Policristalino”	25
Figura 2-8: “Fuerzas del sistema”	27
Figura 2-9: “diagrama cuerpo libre”	28
Figura 2-10: “fuerza cortante”	28
Figura 2-11: “momento flector”	29
Figura 2-12: “pedestal”	33
Figura 3-13: “Diseño de panel”	39
Figura 3-14: “(SYWK 25 YTH) “rodamiento sellado”.	39
Figura 3-15: “rodamiento rígido de bolas- 6006-RS1”	40
Figura 3-16: “assembly 6006 – rs1”	41
Figura 3-17: “rodamiento de rodillos”	41
Figura 3-18: “assembly 32912”	42
Figura 3-19: “diseño de eje superior y pedestal”	43
Figura 3-20: “figura digital de paneles, eje y rodamientos superiores”	44
Figura 3-21: “Dibujo Retenedores de acople”	44
Figura 3-22: “Dibujo unión de piezas”	45
Figura 3-23: “Especificaciones del soporte”	45
Figura 3-24: “Piezas individuales”	47
Figura 3-25: “visualización y manipulación”	48
Figura 3-26: “Visualización en Windows 7”	49

Lista de tablas

Tabla 1-1: Seguidores más usados a nivel industrial.....	15
Tabla 2-2: Especificaciones del panel.....	24
Tabla 2-3: Características de elementos del diseño.	25
Tabla 2-4: Especificaciones eléctricas y de fuerza (motor)”	38
Tabla 3-5: Especificaciones y límites de rodamiento 32912. (SKF Group , 2019).....	42
Tabla 3-6: Datos de dibujo de engranes exportada de Software Mathcad	46

Introducción

El mundo actual atraviesa por una serie de acontecimientos que impactan directamente a su existencia, tales como el calentamiento global, contaminaciones de las fuentes agua, agotamiento de los recursos no renovables, aumento de la población mundial, el crecimiento en la demanda de consumo energético, y una serie de factores que afectan negativamente al planeta. Una de las formas de combatir el cambio climático es a través de la implementación e investigación de alternativas energéticas limpias y renovables.

Por su parte Orbeago y Arivilca (2010) refieren que, uno de los medios más concurrido y tratado en los últimos tiempos es indiscutiblemente la energía solar, pues a diferencia del resto de alternativas, esta es prácticamente inagotable, al menos en los próximos cinco mil millones de años; hipotéticamente esa misma energía, es la causante de todo el funcionamiento del sistema solar, sin ella no habría plantas, ni seres vivos y por ende, vida.

La eficacia de un sistema fotovoltaico va de la mano de los componentes presentes en la instalación y a su correcta operación, entre éstos, el panel fotovoltaico, el cual se cataloga como el más crítico, de acuerdo a que su eficiencia, depende indiscutiblemente de su manipulación y ubicación, dado que las condiciones de operación y orientación de la radiación solar varía según el día y el periodo del año; por eso Ferrer y Lacasa (2012) afirman que las condiciones atmosféricas y latitud del lugar donde están situados son entes también de afectación. De acuerdo a ello, se debe realizar periódicamente ciertos cambios en la orientación en margen al mayor aprovechamiento de la radiación solar.

Se logra aumentar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, básicamente garantizando una orientación o perpendicularidad en torno a la incidencia de los rayos solares. Esta condición es posible con la instalación de mecanismos, los cuales operen en conjunto a

sensores eléctricos y componentes propios de una automatización (Salamanca Ávila S, 2017). Con lo anterior se logran mejoras en la eficiencia.

Un sistema automático seguidor solar es una estructura que soporta una o varias placas solares o paneles fotovoltaicos, y a la vez es capaz de orientarlas de forma que estén lo más perpendicularmente y en lo posible siempre orientadas a los rayos del sol, permitiendo movimientos programados de la estructura que soporta los paneles, permitiendo que se puedan realizar movimientos horizontales, verticales y mixtos, de acuerdo a parámetros de programación que puedan estipularse. El precio de una instalación para seguidores solares oscila entre el 10 % y 20 % de costos, sobre las bases fijas, pero su optimización y ahorro de energía local paga, disminuye a un 45 % aproximadamente (Luis Efraín R, 2015) de gastos energéticos.

En el proyecto se describe la realización del estudio del diseño estructural mecánico, donde el objetivo principal es realizar el diseño de un sistema estructural electromecánico para un seguidor solar de paneles fotovoltaicos, siguiendo las siguientes pautas, como objetivos específicos: 1). Realizar los cálculos del diseño mecánico de la estructura física y soporte del seguidor solar, bajo aplicaciones de cálculos necesarias, y en diversas teorías físicas pertinentes; 2) Construir en software CAD los dibujos mecánicos de las diferentes piezas que conforman la estructura del seguidor solar donde, aplicando los datos del estudio previo, se logre desarrollar visualmente las piezas necesarias para la estructura, 3) de acuerdo a características, y cálculos, se establecerá el motor sugerido con características para poder controlar la estructura; 4) por último, se llevará una simulación general, demostrando y representando los rangos de movimientos de la estructura, lo cual permitiría el movimiento final de los paneles solares.

La metodología del presente proyecto, se describe en la serie de cálculos físicos aplicados, los cuales de manera intuitiva son representados en la base de variables del software de dibujo mecánico SolidEdge, donde se logran incurrir las variables y modificaciones ideales para el funcionamiento de la estructura, la cual es visualizada a través de renders o simulaciones manipulables.

Uno de los antecedentes tenidos en cuenta para el desarrollo del presente proyecto fue el trabajo realizado por Carmona Enrique y Espina Alba (2013, p.19) para su tesis de grado de ingeniería electrónica de la universidad Antonio Nariño sede Cartagena, quienes desarrollaron un prototipo de un sistema seguidor solar automático para un generador fotovoltaico. El sistema realizaba movimientos electromecánicos en un solo eje. Los resultados permitieron demostrar el aumento de la potencia eléctrica obtenida mediante la configuración del prototipo, realizando operaciones mediante un algoritmo, capaz de conmutar información básica de posiciones y coordenadas geográficas, azimut, latitud hora y fechas, variables que les permitieron determinar las automatizaciones ideales para la implementación y optimización de su sistema.

Otro planteamiento e investigación fue el de Ferrer y Lacasa (2012). En este caso, se diseñó y se fabricó un seguidor solar que consta de 1 eje de operación, para cambiar la posición de los paneles en el transcurso del día; dependiendo de los cambios geográficos, se verá afectado la orientación óptima de los paneles hacia el sol. El uso de un solo movimiento, minimiza los costos, y se recupera un porcentaje, debido a que la dimensión de los paneles en este caso, es particularmente industrial.

1.Marco teórico

Para desarrollar actividades de Ingeniería una persona tendrá que poseer conocimientos básicos de las ciencias, pero también ciertas dosis de motivación y creatividad además de los saberes propios que le permitan actuar con rigor y eficiencia en sus acciones. El diseño de Ingeniería Mecánica no es la excepción a estas condiciones (Copérnico, Kepler y Galilero, 1961).

Breve introducción al diseño

El diseño es una actividad cuyo objetivo es determinar las cualidades formales de los objetos producidos por y para la industria (K.y.G, Copérnico, 1961). No obstante, el diseño en nuestra vida cotidiana abarca muchos frentes de trabajo que hacen de él, una actividad de mucha creación.

Tarea que requiere muchas destrezas y experiencia; es necesario subdividir actividades complejas en una serie de tareas simples. Es un proceso innovador que permite optimizar recursos al generar un producto o resultado.

Actualmente existen muchos recursos para apoyar al diseñador, entre los que se incluyen muchas fuentes de información y una gran abundancia de herramientas de Diseño Asistido por Computador CDA que facilitan enormemente la labor. Luego del estudio previo de una propuesta, para abarcar la fase de diseñar, se debe tener acceso a medios de amplio portafolio de información, el diseño no es único, es en una tarea ininteligible donde se hace necesario subdividir actividades de acuerdo al tipo de complejidad o compromiso, la dificultad del tema requiere una continuidad en la cual las ideas se presentan y se revisan (Richard G Budynas & J Keith Nisbett , 2008).

Paneles solares y variaciones

Actualmente son muchos los diseños a grandes escalas disponibles en el mercado e instalados por toda partes, la mayoría de ellos comparten similitudes, basados en el principio de funcionamiento, de acuerdo a muchos factores se tiene principales variantes; relaciones de precios, costos y mantenimientos (tabla 1-1).

Tabla 1-1: Seguidores más usados a nivel industrial.

Fabricante	Descripciones	Especificaciones y precio
<p data-bbox="310 768 638 846">jSDK SOLAR TRACKER KIT</p> 	<p data-bbox="691 768 1039 1455">SDK es una marca fabricante, usa a menudo movimiento en dos ejes, a los cuales llama TRACKER-KIT, consta de localizadores automáticos en cortos periodos de tiempo, variables entregadas a 2 motores: dos lineales a los ejes, dando percepción de movimiento central o planetario. (Fuentevilla J.S, 2012)</p>	<p data-bbox="1065 768 1414 1251">Entrega una potencia de 15 kW. Rotación en eje horizontal para inclinación, De 0° a 70°. Rotación en eje vertical (Azimut): De 0° a 240° Altura máxima, no continua, sus paneles superan los 14.50 metros de ancho. (Fuentevilla J.S, 2012)</p>
<p data-bbox="402 1476 548 1503">WATTSUN</p>	<p data-bbox="691 1476 1039 1860">El AZ-225 de acuerdo al peso del panel Policristalino, se establece tope máximo de 8 módulos por estructura; movido por grandes rodamientos mecánicos, permitiendo estabilidad</p>	<p data-bbox="1065 1476 1406 1860">Entrega potencia de 4 kW Movimiento en 2 ejes, azimut y elevación entre 5° y 75°, de acuerdo a la posición inicial. Precio aproximado de 6,250 USD. (Fuentevilla J.S, 2012)</p>

	<p>ante cualquier situación ambiental, adiciona un 33 % con respecto a los sistemas de inclinación fija, con el mismo número de paneles. (Fuentevilla J.S, 2012)</p>	
<p>BIO 1</p> 	<p>Análogo, por contar con programación manual, es decir, se activa y desactiva a una hora específica de acuerdo a una sincronización. Preferiblemente para proyectos no ambiciosos y de fácil manejo o instalación. (Fuentevilla J.S, 2012)</p>	<p>Potencia de entrega de 1.56 kW. Consta de 2 ejes de seguimiento, instalado a una altura de aproximadamente 3 metros, su precio ronda los \$ 11,730 USD. (Fuentevilla J.S, 2012)</p>
<p>Lorentz etatrack active 1500 - a</p> 	<p>LORENTZ ETATRACK permite un máximo de aprovechamiento del 40 % de su rendimiento, este sistema no es para medios extremos, dado que no tiene control de vientos, lo cual lo hace vulnerable a las ráfagas. (Fuentevilla J.S, 2012)</p>	<p>Potencia de entrega de 2.9 kW, consta de un eje controlado eléctricamente, y un segundo eje totalmente manual. Ronda los \$10,746 USD. (Fuentevilla J.S, 2012)</p>

Fuente: los autores, basado en (Fuentevilla J.S, 2012).

Los sistemas legalmente formalizados e instalados dentro del territorio nacional de Colombia, debe estar regido bajo caracterizaciones técnicas y normas exigidas en el código eléctrico colombiano NCT 2050 (NTC 2050, 2020), de igual forma deben realizarse bajo conexiones señaladas de acuerdo al reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2019).

Algunas Empresas aun le apuntan a otro tipo de economías, valiéndose de fabricaciones o patentes propias, lo cual le permite auto generar energía, como sostenibilidad y apoyo al planeta. En la figura 1-1, se observa una apelación de la empresa “aluminia” sobre el tejado de una fábrica, en la ciudad de Ecuador.

Figura 1-1: “Paneles solares a diferentes grados”



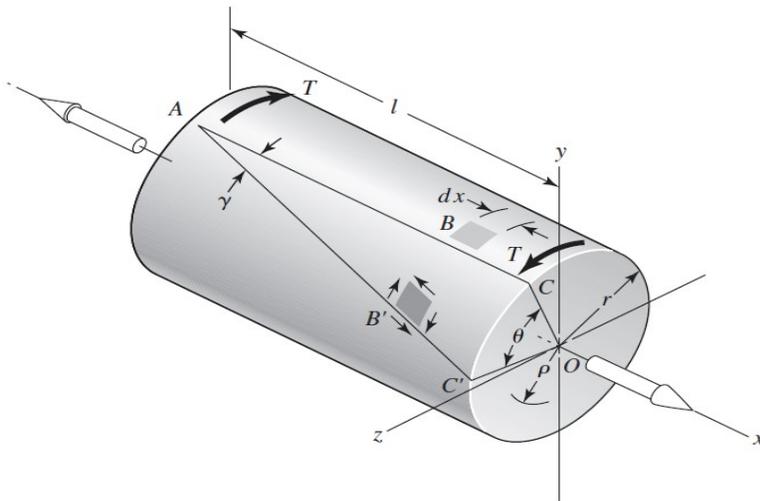
Fuente: (Aluminia, 2020)

Consideraciones de los elementos

Momento de torsión

Cualquier vector presente en el momento lineal con respecto a un eje de un elemento mecánico, es denominado “vector de par de torsión”, momento donde pueden generarse infinidad de vectores; esta propiedad geométrica que se origina, debido a la relación que se da en determinado momento torsor. Cuando una barra redonda, está siendo sometida, o ciertas fueras recaen sobre esta, se establece que está siendo sometida a un momento de torsión. (Ver figura 1-2)

Figura 1-2: “torsión”.



Fuente: (Richard G Budynas & J Keith Nisbett , 2008)

La torsión, al efectuarse, también puede ser llamada “par”, y esta puede interpretarse analíticamente a través de flechas, originadas del centro, hacia la superficie de la barra; para que las direcciones de los vectores puedan ser analíticamente entendibles, propias de representar las fuerzas presentes en los ejes de la figura geométrica. La sección circular se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\theta = \frac{Tl}{Gj}$$

Donde T= Es el par de torsión

L= Longitud de la barra

G= Moludo de rigidez del material

J= Segundo momento polar del area

Fuente: (Richard G Budynas & J Keith Nisbett , 2008).

A lo largo de sección transversal, se desarrollan esfuerzos cortantes, pero en este caso, para una barra redonda, maciza, los estos esfuerzos estan directamente proporcionales al radio de la barra, y están dados por la siguiente ecuación.

$$t = \frac{T\rho}{J}$$

Para el radio de la superficie exterior, se tiene:

$$t \max = \frac{Tr}{J}$$

Los analisis del diseño entoces son:

Sobre la barra solida, actúa una torsión, y las secciones en consideración están lejos del punto de aplicación de la carga y de cualquier cambio de diámetro. (Richard G Budynas & J Keith Nisbett , 2008).

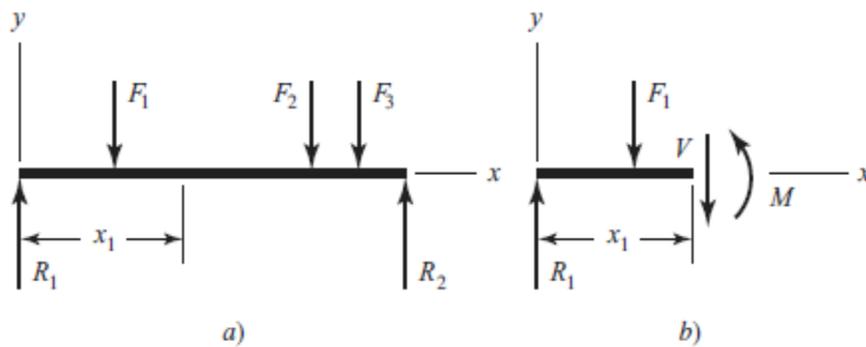
Momento flector

Es un momento de fuerza originado por una deformación no visible de elementos estructurales, lo cual causa afectaciones en cierta dirección perpendicular a sus ejes.

En la figura 1-3 se observa una viga apoyada sobre R_1 y R_2 , F_1 , F_2 y F_3 son fuerzas concentradas; al cortar la viga (como se muestra en la sección “(b)” de la Figura 1-2, se origina una fuerza cortante interna, “ V ”, y se genera un momento flector “ M ”. En este justo instante, el momento flector, es la suma de todos los momentos de la sección opuesta a la cortada, y se expresa en la siguiente formula.

$$V = \frac{dM}{dx}$$

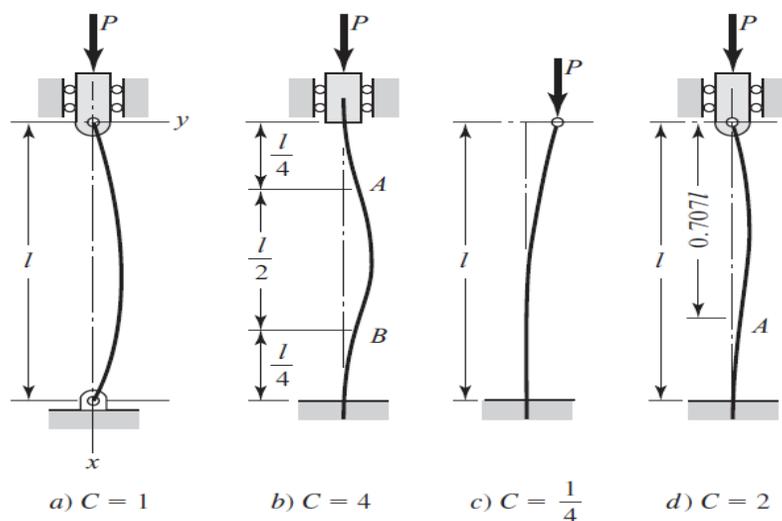
Figura 1-3: “diagrama de cuerpo libre de una viga”



Fuente: (Richard G Budynas & J Keith Nisbett , 2008)

Los elementos son notoriamente diferentes, dado que estos, son sometidos en sus aplicaciones tensión o a torsión, fuerzas que inciden de acuerdo a la trayectoria que se puede describir, mientras más extremo o extenso es su posición final, mayor será su fuerza. De acuerdo al estudio de un cuerpo, se puede determinar si consta por ejemplo de pandeo, o cualquier fuerza que indique afectación física general. Ver figura 1-4.

Figura 1-4: “momento flector vigas”



Fuente: (Richard G Budynas & J Keith Nisbett , 2008)

a) Ambos extremos están pivoteados o articulados; b) ambos extremos están empotrados; c) un extremo libre, un extremo empotrado; d) un extremo redondo y articulado, y un extremo empotrado.

Software de simulaciones “CAD”

El diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en inglés) es una tecnología que reemplaza el dibujo manual, por uno sistematizado. Actualmente existen varias de estas aplicaciones tales como: CAD 2D o 3D como AutoCAD o AutoCAD LT, Solidedge, Solidword, entre otros. Son usados casi que obligatoriamente, debido a sus amplios parámetros a nivel ingenieril para facilitar actividades complejas de diseño.

De acuerdo a los cálculos, se genera un modelamiento geométrico, el cual de forma analítica, genera la lógica visual de un objeto físico; cuando se diseña, se establecen y plasman los parámetros o cálculos obtenidos, o los que se van obteniendo en el desarrollo de variables posibles presentes en el diseño. Ante cualquier implementación, lo que se requiere antes de, es evidenciar todos los parámetros, y crear un simulación, donde se pretendan abordar todos los entes que pueda afectar el sistema, pero de forma digital (La revista, 2014).

Este tipo de software, manejan gran variedad de actualizaciones, indudablemente es una herramienta indispensable para los ingenieros que desarrollen labores complejas de diseño

Rodamientos mecánicos

Los rodamientos se diseñan para permitir el giro referente entre dos piezas y para soportar cargas puramente radiales que impiden el desplazamiento de empuje central, con lo cual se impide el desplazamiento en la dirección del eje), observar figura 1-5.

Figura 1-5: “partes de un rodamiento”



Fuente: (SKF, Groupe, 2016)

La vida útil de un rodamiento depende de varios factores, pero uno de los más críticos, es su lubricación interna, dado que esta impide el contacto metal con metal, creando una capa o película a medida que los rodamientos internos, están en movimiento, permitiendo y facilitando la distribución del compuesto usado para lubricar. Lubricación externa. Ver figura 1-6)

Figura 1-6: “visualización de un rodamiento”



Fuente: www.skf.com/ (SKF, Groupe, 2016)

2. Cálculos del diseño

Para realizar el dibujo del diseño, se aplican determinaciones respecto a los parámetros definidos a continuación, donde de acuerdo a su funcionabilidad, se accede a las características más rentables, las cuales hacen del presente proyecto, un método didáctico, visible y educativo.

Se prioriza el diseño inicialmente en los elementos estructurales, de acuerdo a ello, se establece rangos, de acuerdo especificaciones de arriba hacia abajo; obteniendo datos inicialmente de los pesos de los paneles solares deseados o propuestos.

El panel seleccionado para ser representado, es de particularidad solar Policristalino con peso de 5 Kg; cuenta con especificaciones (tabla 2-2), de acuerdo a eso, se comienza decidir y designar parámetros del diseño de la estructura que lo va a soportar.

Tabla 2-2: Especificaciones del panel.

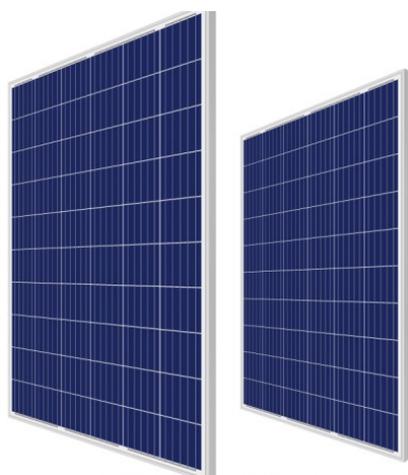
Especificaciones	Cantidad
Potencia máxima nominal	265 - 295 W
Tolerancia de salida	±5%
Voltaje en máxima potencia	18 V
Corriente en máxima potencia	0.444 A
Voltaje en circuito abierto	20.5 V
Corriente de cortocircuito	0.46 A
Voltaje máximo del sistema	750 VDC
Máxima calificación de fusibles en serie	10 A
Temperatura de trabajo	-40° C a 85° C
Temperatura nominal de la celda	44.5 ±2° C
Tipo de cableado mínimo	12 AWG
Peso	5 Kg 

Dimensión:	240 x 290 x 18 milímetros.
------------	----------------------------

Fuente: (dahsolarpv, 2020)

Los paneles solares soportados por el sistema, se muestran en la (figura 2-7).

Figura 2-7: “Panel Solar Policristalino”.



Fuente: (dahsolarpv, 2020)

Los datos son suministrados de manera simultánea al software, de tal forma que a medida que se vaya determinando las variables del diseño, se realiza el dibujo de las piezas o componentes con los datos de entrada o específicos. (Ver figura 2-3)

Tabla 2-3: Características de elementos del diseño.

Datos de entrada	Valor
Masa del panel	$M_{\text{panel}} := 5\text{kg}$
Altura del soporte	$h_{\text{soporte}} := 1\text{m}$

Densidad del acero	$\rho_{\text{acero}} := 7853 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Longitud eje del soporte de los paneles	$L_{\text{sp}} := 0.8 \text{ m}$
Módulo de elasticidad del acero	$E_{\text{acero}} := 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
Resistencia última ASTM A36	$\sigma_{\text{utA36}} := 400 \text{ MPa}$
Resistencia a la Fluencia A36	$\sigma_{\text{YA36}} := 250 \text{ MPa}$
Resistencia última AISI 1020	$\sigma_{\text{ut1020}} := 400 \text{ MPa}$
Resistencia a la Fluencia AISI1020	$\sigma_{\text{Y1020}} := 250 \text{ MPa}$
Resistencia a la fatiga AISI1020	$\sigma_{\text{fatiga1020}} := \sigma_{\text{ut1020}} \cdot 0.506$ $\sigma_{\text{fatiga1020}} = 2.024 \times 10^8 \text{ Pa}$

Fuente: Propia del autor, mediante software Solid Edge.

Para la altura del soporte, se da un dato arbitrario de altura de 1 metros a partir de la superficie de los paneles sobre el eje.

Longitud entre ejes está dada por las dimensiones de los paneles, y la disponibilidad de espacios entre ellos.

Los valores de del Acero Aisi 1020 se encuentran en los anexos del presente documento. (Ferrocortes, 2012)

Eje de soporte de los paneles

El criterio de análisis del eje de soporte de los paneles se realiza a través del de esfuerzos a flexión, para el proceso de cálculo, se tomó una barra estándar de 25mm, debido a que comercialmente se cataloga como eje, de acuerdo a la calidad del acero, y su rigidez constituye capacidad de peso para los paneles propuestos. De esa dimensión hacia abajo,

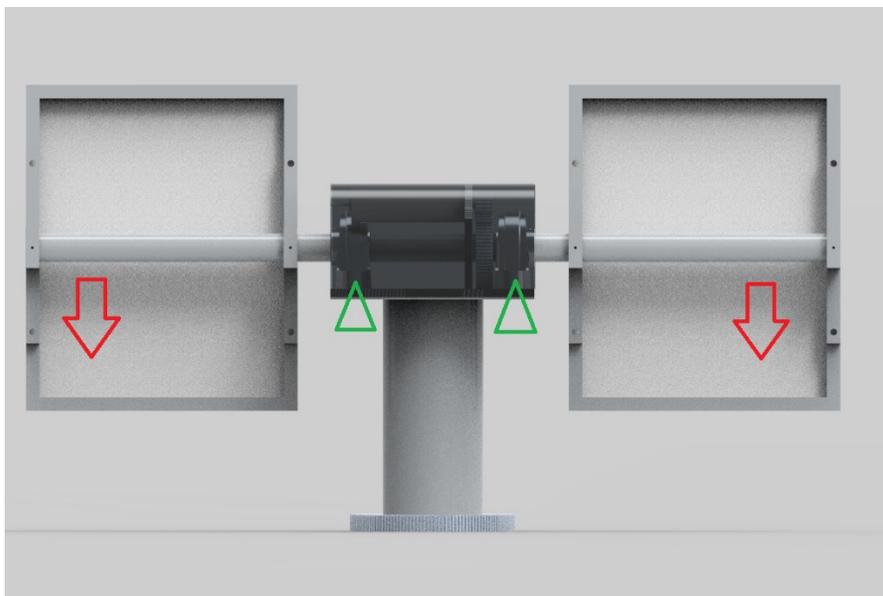
son tubería o varillas aceradas. El acero AISI1020 se emplea como eje del soporte para criterio de análisis y cálculos de factor de seguridad.

Los rodamientos que soportan al eje, coinciden con la dimensión de este, lo cual facilita el diseño y acople de estos, al eje.

El **AISI1020**, es un tipo de acero muy utilizado, por sus características básicas, de fácil mecanizado y buena soldabilidad, el cual se emplea en elaboración de ejes a baja escala. (Ver anexo D)

Se realiza el primer dibujo, para señalar la ubicación de las cargas. (Ver figura 2-8).

Figura 2-8: “Fuerzas del sistema”



Fuente: elaboración propia del autor

Los rodamientos actúan como los soportes de una viga simplemente soportada. Para este caso, y para simplicidad del análisis, la condición de soporte es la de una viga simplemente soportada, con dos cargas puntuales (el peso de los paneles, de 5kg cada uno).

$$W_{\text{Panel}} := M_{\text{panel}} \cdot g$$

$$W_{\text{Panel}} = 49.033 \text{ N}$$

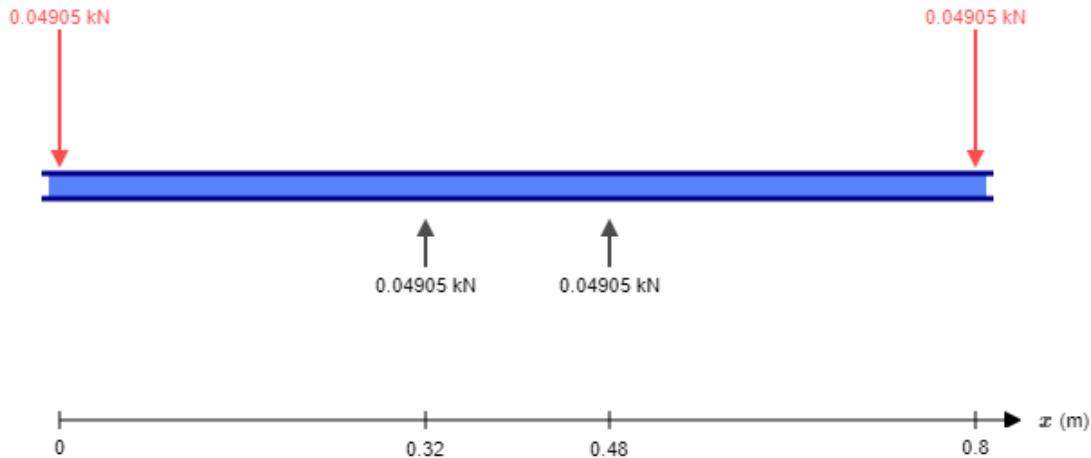
Distancia entre soportes es la distancia entre el soporte de la viga, en este caso el rodamiento más cercano, al extremo del panel.

$$D_{\text{sop}} := 0.32 \text{ m}$$

Con las dimensiones del eje, y las cargas se ejecutan los diagramas de cuerpo libre, así como los de cortante y momento flector empleando la herramienta online de SkyCiv, con la cual se generan las imágenes que veremos continuación.

Diagrama de cuerpo libre: Figura 2-9

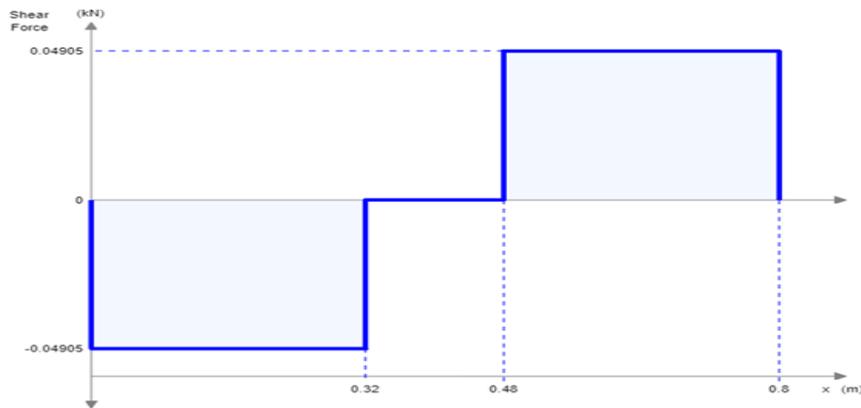
Figura 2-9: “diagrama cuerpo libre”



Fuente: El autor con la aplicación “SkyCiv online” (skyciv, s.f.)

En la figura 2-10 se demuestra el diagrama de fuerza cortante.

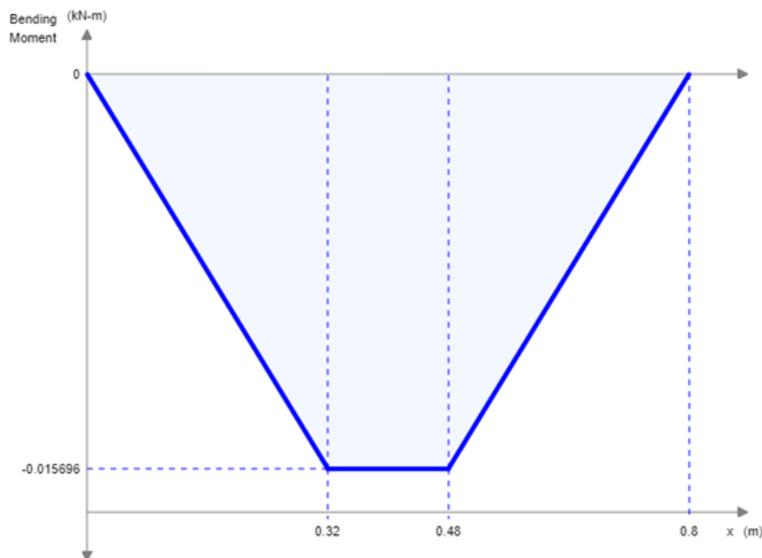
Figura 2-10: “fuerza cortante”



Fuente: elaboración propia con aplicación “SkyCiv online” (skyciv, s.f.)

En la imagen (2-11) se demuestra el momento flector ejercido sobre el eje, lo cual se interpreta como una fuerza, haciendo apalancamiento desde el extremo del eje, hacia el soporte más cercano, en este caso, el rodamiento.

Figura 2-11: “momento flector”



Fuente: El autor con aplicación “SkyCiv online” (skyciv, s.f.)

No se tiene en cuenta la torsión, debido a que cuando los paneles comienzan a moverse, porque el movimiento es lento, lo cual no se ve afectado por la inercia, lo cual será controlado mecánicamente por la serbo trasmisión que se le pueda acoplar al motor eléctrico (Richard G Budynas & J Keith Nisbett , 2008).

Del diagrama de momento flector se extrae el mayor valor absoluto, que en este caso sería de momento flector máximo en el eje.

$$M_{\text{maxeje}} := W_{\text{Panel}} \cdot D_{\text{sop}}$$

$$M_{\text{maxeje}} = \mathbf{15.691 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

Con esta información, se determina el tamaño mínimo del eje que se requiere para cumplir con el criterio de carga.

El diámetro mínimo requerido para este eje, se estima empleando el esfuerzo límite de resistencia a la fatiga del material, “Mmaxej” = sirve para estimar el diámetro mínimo de la barra que soportaría todo lo demostrado en las arriba en los datos de entrada.

Usando la ecuación de esfuerzo de flexión para ejes circulares se realiza una derivación, el esfuerzo en el material va a ser igual a momento flector, entonces tenemos que.

$$\sigma_{\text{fatiga}} = \frac{M_{\text{maxeje}} \cdot r}{I_c}$$

Donde el esfuerzo de la fatiga es igual momento máximo en el eje, multiplicado por el radio del eje, dividido el momento de inercia del círculo.

Para hallar el momento de inercia de la sección circular, se emplea la siguiente formula.

$$I_{\text{circulo}} = \frac{\pi r^4}{4}$$

Remplazando en formula de esfuerzo de fatiga:

$$\sigma_{\text{fatiga}} = \frac{M_{\text{maxeje}} \cdot r}{\frac{\pi r^4}{4}}$$

Se cancelan dos radios de la ecuación, queda elevado a la 3, y el 4 que está dividiendo, pasa a multiplicar junto con π :

Queda expresada de la siguiente manera:

$$\sigma_{fatiga} \frac{4M_{maxeje}}{\pi r^3}$$

Al ya conocer el esfuerzo de fatiga y tenemos el momento, se requiere saber el radio mínimo, para ello, despejamos la fórmula, en función de radio, expresado en la siguiente fórmula.

$$r_{min} := \sqrt[3]{\frac{4M_{maxeje}}{\pi \cdot \sigma_{fatiga1020}}}$$

Donde r_{min} es igual a la fórmula de inercia circular, y el factor de fatiga del elemento, está dado por especificaciones del material en la tabla de entrada de datos.

Radio mínimo de la barra: $r_{min} = 4.621 \cdot \text{mm}$

Para obtener el diámetro, lógicamente se multiplica el valor del radio por 2= 9.621 mm, valor que se aproxima a 10.

Una barra de 10mm de diámetro se requeriría para la tarea. Sin embargo, para mejorar las condiciones de rigidez se estandariza a una barra de 25mm, porque es un metal comercial, la barra de 10 mm es varilla o tubería.

El factor de seguridad con una barra de 25mm sería, para ello se emplea la fórmula de flexión.

$$\varnothing_{eje} := 25 \text{ mm}$$

Usando la fórmula de flexión, también se utiliza para calcular el factor de seguridad tenemos entonces que:

$$\sigma_{\text{eje}} := \frac{4M_{\text{maxeje}}}{\pi \cdot \left(\frac{\varnothing_{\text{eje}}}{2}\right)^3} \quad \sigma_{\text{eje}} = 10.229 \cdot \text{MPa}$$

$$FS_{\text{ejep}} := \frac{\sigma_{\text{fatiga1020}}}{\sigma_{\text{eje}}} \quad FS_{\text{ejep}} = 19.787$$

Se compara el esfuerzo de falla obtenido, y se compara con el obtenido, cuando el eje era de 10 mm, para determinar qué tan seguro es el diseño.

Se puede entonces determinar que con el nuevo diámetro, se puede instalar 19,787 veces la cantidad de paneles iniciales.

Si bien el factor de seguridad es alto, debe aclararse que la única carga que se evalúa es el peso de los paneles. Sin embargo, las ráfagas de viento pueden producir cargas mayores, así como el montaje y el transporte pueden inducir sus cargas las cuales son casi imposibles de determinar porque dependen, tales como tornillería y demás cosas con peso despreciable.

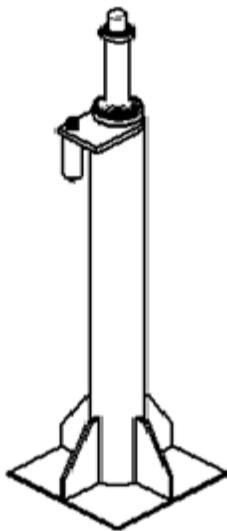
El peso de la propia barra también se hace despreciable, afectando un mínimo al factor de seguridad, aproximándolo a 18.7 unidades, respecto al valor inicial.

Cálculos de pedestal

El comportamiento de los elementos sometidos a compresión puede establecerse mediante la ecuación de Euler para columnas. Para efectos de estandarización, se empleó

un tubo de 3 pulgadas estándar (tubería de presión) ASME B36.10, que son económicos y de fácil obtención en el mercado local. Adicionalmente, su pared gruesa permite mecanizarlos para realizar los asientos de los rodamientos y cualquier otro requisito del montaje, así como garantizar un aumento excesivo del espesor para la corrosión, lo que alargaría la vida del soporte. Observar figura 2-12

Figura 2-12: “pedestal”



Fuente: “elaboración propia del autor con Solid Edge”

Como es un tubo hueco, se deben tener en cuenta diámetros internos y diámetros externos, los cuales son indispensables para el acople del rodamiento.

Se usa la fórmula de momento de inercia, que se aplicó como inercia circular de ejes.

$$I_{\text{circulo}} = \frac{\pi r^4}{4}$$

Diámetro externo

$$\varnothing_{\text{ext3}} := 88.9 \text{ mm}$$

Diámetro interno

$$\varnothing_{\text{int}3} = 77.92 \cdot \text{mm}$$

De acuerdo a condiciones de extremos de columnas, se tiene en cuenta la condición de empotrado libre.

Para hallar el momento de inercia en el pedestal se usa la fórmula:

$$I_{\text{tubo}3} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \left[\left(\frac{\varnothing_{\text{ext}3}}{2} \right)^4 - \left(\frac{\varnothing_{\text{int}3}}{2} \right)^4 \right]$$

Se reemplaza por los valores de los diámetros del tubo y el resultante es:

$$I_{\text{tubo}3} = 1.257 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

En el caso de columnas empotradas al suelo con el otro extremo libre, la longitud de la columna se ve modificada por un factor, lo que la convertiría en una columna equivalente a la columna ideal de Euler (fijada por pivotes en los extremos). En este caso, sería el doble de la longitud real por= carga crítica, la cual se plantea bajo Euler para columnas o elementos en compresión.

$$P_{\text{crtubo}} := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{acero}} \cdot I_{\text{tubo}3}}{(2 \cdot h_{\text{soporte}})^2}$$

Valor máximo de carga crítica del tubo de 3 pulgadas.

$$P_{\text{crtubo}} = 620.06 \cdot \text{kN}$$

Luego, si se le compara con el peso del todo el montaje superior, con todo y motores, engranajes y paneles, que ronda los 18kg (datos del modelo 3D). El tubo es seguro para su uso contra cargas de compresión.

$$M_{\text{conj sup}} := 18 \text{ kg}$$

Se multiplica por el valor de la gravedad= 9.8 m/s^2

$$W_{\text{conj sup}} := M_{\text{conj sup}} \cdot g = 0.177 \cdot \text{kN}$$

Si se compara el valor obtenido, respecto a la carga crítica, la diferencia es muy amplia, muy ideal para soportar las fuerzas.

620kN comprados con 0.177 kN

Cálculo de anclaje de conjunto superior

Dado que sobre éste eje descansan los rodamientos que soportan el conjunto superior, también se aplica la teoría de Euler para columnas. Para éste, se seleccionó una barra de AISI 1020 de 60mm de diámetro, con la cual se realizarán las estimaciones de carga crítica.

Las propiedades de la sección del eje en AISI 1020 son las siguientes:

Como es un eje sólido, solo se emplea el valor del eje externo, cuyo radio es de:

$$\varnothing_{\text{ejesop}} := 60 \text{ mm}$$

Momento de inercia en el anclaje.

$$I_{\text{ejesop}} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \left[\left(\frac{\varnothing_{\text{ejesop}}}{2} \right)^4 \right] \quad I_{\text{ejesop}} = 6.362 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$$

La altura del eje del soporte es de **220mm** por valor arbitrario dado a un eje mecanizado por software.

Para cálculos del eje de soporte secundario, se emplea la misma fórmula de la tubería anterior de 3 pulgadas.

$$P_{\text{crejesop}} := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{acero}} \cdot I_{\text{ejesop}}}{(2 \cdot L_{\text{ejesop}})^2}$$

El valor resultante del eje pequeño superior es:

$$P_{\text{crejesop}} = 6.486 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Multiplicando el valor obtenido, por la gravedad, tenemos que:

$$W_{\text{conjsup}} = 176.52 \text{ N}$$

Valor resultante del momento de inercia en el eje del conjunto superior.

Cálculos de motores

Considerando las velocidades de rotación de las articulaciones del soporte, los efectos de la inercia de los componentes son mínimos en comparación a torques de fricción de los rodamientos. Para ello, se calculará el torque de fricción producido por los rodamientos, entregada por el fabricante (SmbBearings, 2020).

Fórmula para calcular fricción en rodamientos, donde se demuestra el momento donde se rompe la resistencia a la inercia de un eje.

Para estimar el torque de fricción en rodamientos axiales de bolas, información suministrada por el fabricante (SmbBearings, 2020).

$$0.5 * 0 \dots 13 * (\text{carga axial en newtons}) * (\text{diametro interior del rodamiento(mm)})$$

$$M_{\text{Rod}} := \frac{(F_{\text{Rodaxial}} \cdot \varnothing_{\text{ejesop}} \cdot W_{\text{conj sup}})}{2}$$

Donde el movimiento de rodamiento es igual a:

Factor de rodamiento axial, multiplicado por el eje del soporte multiplicado por el peso del conjunto superior, dividido entre dos.

Se resalta que el valor es el mismo, si se multiplica todo por 0.5, o se divide entre 2.

Motor 1 movimiento de eje de paneles

$$M_{\text{Rod}} = 6.884 \times 10^{-4} \text{ N}\cdot\text{m}$$

Motor 2 movimiento eje de anclaje

$$M_{\text{Rod2}} := \frac{(F_{\text{Rodradial}} \cdot \varnothing_{\text{ejesop}} \cdot W_{\text{conj sup}})}{2}$$

$$M_{\text{Rod2}} = 7.943 \times 10^{-4} \text{ N}\cdot\text{m}$$

Se aprecia que se requiere un poco más de esfuerzo para mover el conjunto del eje de anclaje.

No se tiene en cuenta la torsión cuando los paneles comienzan a moverse, porque el movimiento es lento, el motor tiene aplicaciones de reducción para precisión, lo que indica que cuenta con transmisión sencilla interna, la cual funciona como frenado, al momento de retirar la energía del motor

En la tabla 2-4 se describen las especificaciones encontradas en el catálogo de buehlermotor, donde se dan las especificaciones del motor adecuado para ambos movimientos. (Buehlermotor, 2020).

Tabla 2-4: Especificaciones eléctricas y de fuerza (motor)”

Voltaje	12 VDC variables
Revoluciones	125 r.p.m. / 525 r.p.m.
Stall torque	15 Kg/cm / 25 kg/cm
Corriente Stall	5,9 Amp
Corriente free-run	300 mA.

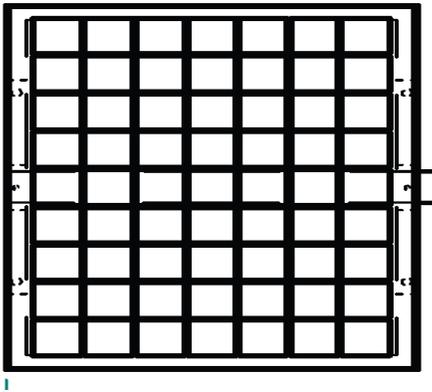
Fuente: /www.buehlermotor.com (Buehlermotor, 2020)

3. Diseño de piezas en Software y simulaciones

Panel fotovoltaico

De acorde a la tabla anterior, bajo especificaciones se establece la elaboración digital del diseño de los paneles fotovoltaicos en el plano, los cuales se ilustran en la figura 3-13

Figura 3-13: “Diseño de panel”.



Fuente: Elaboración propia del autor mediante software SolidEdge st10.

El rodamiento o cojinete sellado, mantiene su lubricación libre de afectaciones al medio, lo cual lo cataloga como vida útil infinita, si trabaja bajos operaciones normales específicas. La dimensión del diámetro interno de este rodamiento, es la misma del eje seleccionado para el soporte de los paneles. (Ver figura 3-14).

Figura 3-14: “(SYWK 25 YTH) “rodamiento sellado”.



Fuente: www.skf.com/. (SKF groupe, 2016)

El acople del soporte inferior al eje está dado por un rodamiento el cual está ajustado a las dimensiones del tubo de la misma base, el cual se muestra en la figura 3-15.

Figura 3 15: “rodamiento rígido de bolas- 6006-RS1”

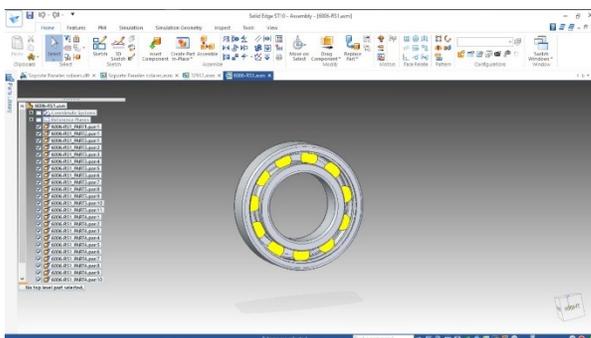


Fuente: (SKG Group, 2016)

Rodamiento rígido de bolas.

Mediante las especificaciones dadas por el fabricante, se conmutan datos en el software, ajustando las dimensiones a la estructura geométrica ya implementada; se selecciona este rodamiento, como garante al acople funcional de diámetros respecto al eje de operación. (Ver figura3-16).

Figura 3-16: “assembly 6006 – rs1”.



Fuente: Elaboración propia del autor mediante software SolidEdge st10. CAD capturado de la página del proveedor.

Rodamiento de hileras de rodillos cónicos

Mediante su diseño, sirven para controlar cargas combinadas, es decir, cargas radiales y axiales que actúan automáticamente. Las líneas de proyección de los caminos de rodadura convergen en un mismo punto en el eje de los rodamientos, como se muestra en la figura 3-17.

Figura 3-17: “rodamiento de rodillos”



Fuente: (SKF Group , 2019)

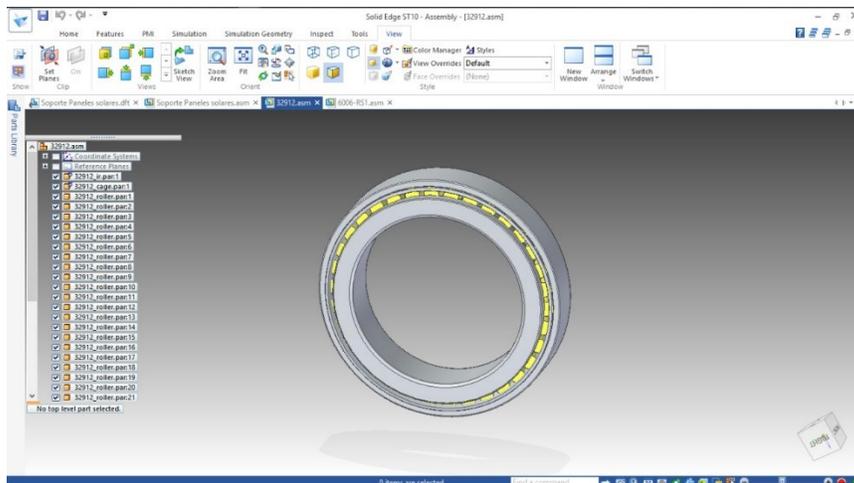
Las especificaciones del rodamiento presentan datos (tabla 3-5)

Tabla 3-5: Especificaciones y límites de rodamiento 32912. (SKF Group , 2019)

Datos del calculo	
Capacidad de carga dinámica básica	53,2 kN
Capacidad de carga estática básica	5 kN
Límite de carga de fatiga	7.8 kN
Velocidad de referencia	6000 r / min
Velocidad límite	7000 r / min
Factor de cálculo (mm)	0,33
Factor de cálculo (pulgada)	1.8
Carga masiva	0,3 kg

De referencia a los datos anteriores, se realiza el diseño demostrado en la figura 3-18.

Figura 3-18: “assembly 32912”.

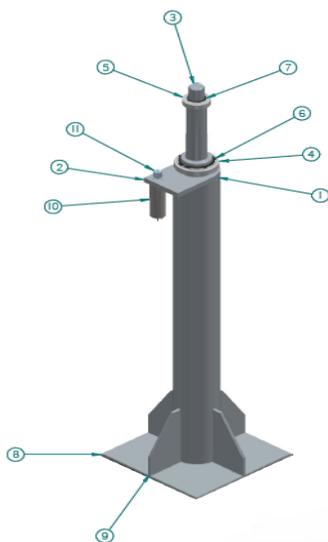


Fuente: Elaboración propia del autor mediante software SolidEdge st10. CAD capturado de la página del proveedor.

Acople Pedestal y soporte base

Las dimensiones de acuerdo a los datos de los ejes, permiten realizar el dibujo del soporte base del panel, acoplado al eje de giro superior (ver figura 3-19).

Figura 3-19: “diseño de eje superior y pedestal”



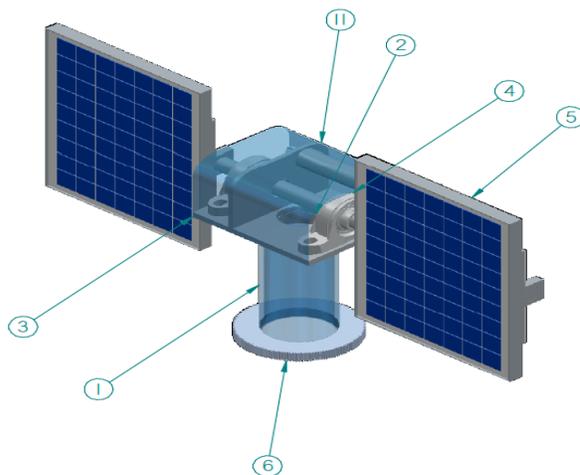
Item Number	File Name (no extension)	Quantity
1	Tubo 3in sch40	1
2	Base rodamiento	1
3	Eje	1
4	32912	1
5	6006-RSI	1
6	din_983_60_x_2	1
7	din_983_30_x_1_5	1
8	Placa base	1
9	Cartela	4
10	Gear Motor 3l x 100	1
11	Engrane 11	1

Fuente: Elaboración propia del autor mediante software SolidEdge st10.

Cabezal de superior y soporte de paneles

Los paneles están soportados sobre el eje central acoplado a los dos cojinetes simétricos. Ver figura 3-20.

Figura 3-20: “figura digital de paneles, eje y rodamientos superiores”.



Item Number	File Name (no extension)	Quantity
1	Tubo 3in sch40 - superior	1
2	Tapa	1
3	Placa Cojinetes	1
4	SYWK 25 YTHSYWK 25 YTH	2
5	Monaje Paneles	1
6	Engrane 12	1
7*	Placa Motor	1
8*	Gear Motor 31 x 100	1
9*	Engrane 21	2
10*	Engrane 22	1
11	Tapa motor	1

Fuente: Elaboración propia del autor mediante software SolidEdge st10.

El acople de las dos figuras, se hace mediante acoples en los rodamientos, orientados y ajustados con retenedores en sus extremos como se observa en la figura 3-21.

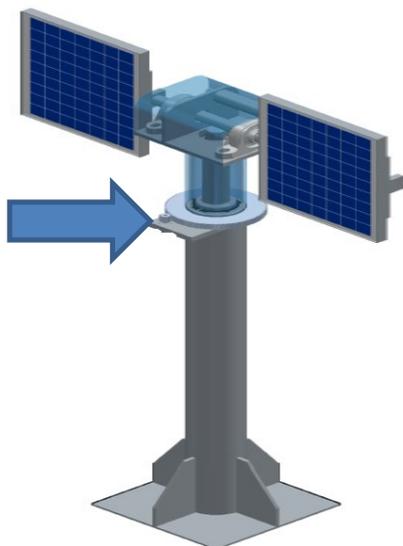
Figura 3-21: “Dibujo Retenedores de acople”.



Fuente: Elaboración propia del autor mediante software SolidEdge st10

Mediante el software se realiza la unión de las dos piezas, como se observa en la figura 3-22.

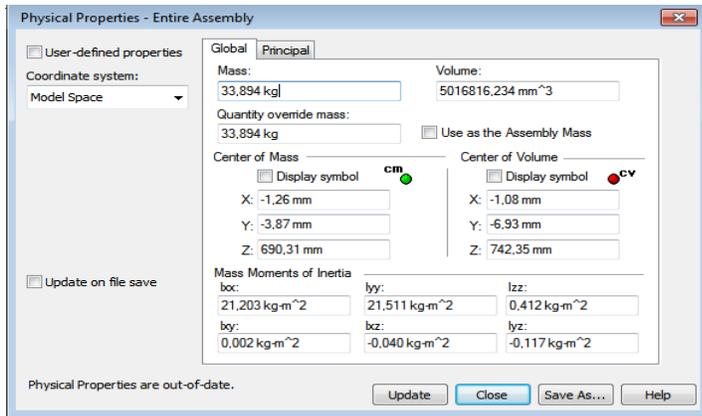
Figura 3-22: “Dibujo unión de piezas”



Fuente: Elaboración propia del autor mediante software SolidEdge st10.

SolidEdge permite visualizar las especificaciones del dibujo individualmente. (Ver figura 3-23)

Figura 3-23: “Especificaciones del soporte”



Fuente: Elaboración propia del autor mediante CAD.

En la tabla 3-6, se observan las especificaciones técnicas del rodamiento de los engranes, el cual es exportado por el software MathCad y enlazado con SolidEdge.

Tabla 3-6: Datos de dibujo de engranes exportada de Software Mathcad

Nombre de datos	Valor paramétrico
Actual Gear Ratio	6
Contact Ratio	1.577
Tangential Pressure Angle	20.00 °
Operating Pressure Angle	20.00 °
Tan. Operating Pressure Angle	20.00 °
Base Helix Angle	0.00 °
Product Center Distance	42.00 mm
Tangential Module	1.00 mm
(Pc) Circular Pitch	3.14 mm

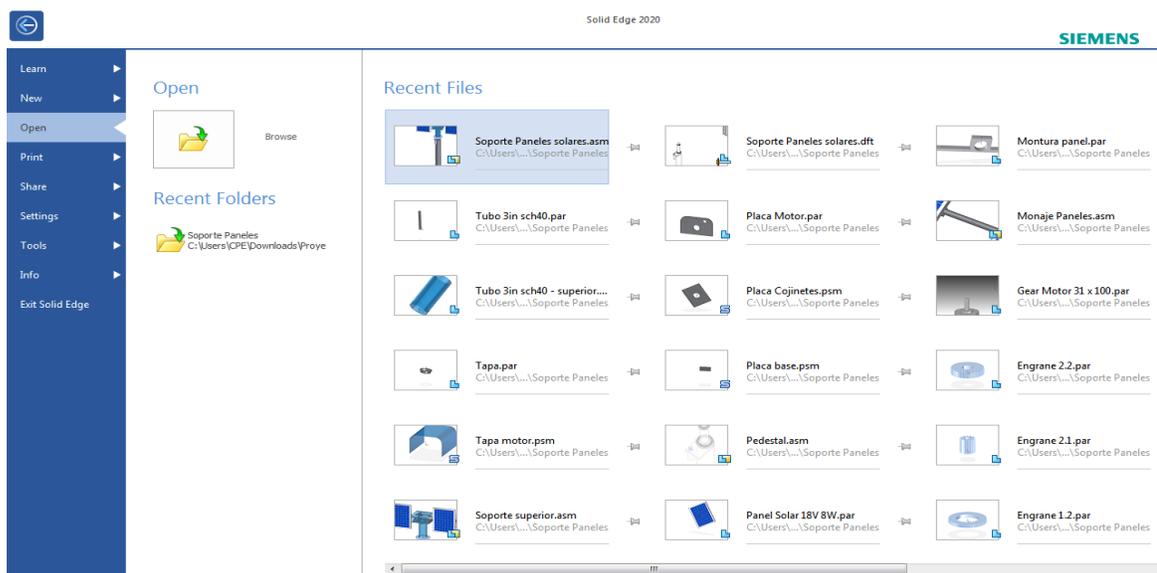
Tangencial Circular Pitch	3.14 mm
(Pb) Base Circular Pitch	2.95 mm
Corrected Root Fillet	0.30 mm

Fuente: Datos de muestreo de los engranes metálicos en Solid Edge.

Piezas individuales en CAD

Las extensiones de los elementos, son propias del software, y solo pueden ser ejecutadas bajo su plataforma. Ver figura 3-24.

Figura 3-24: “Piezas individuales”



Fuente: Elaboración propia del autor (captura de pantalla Solid Edge)

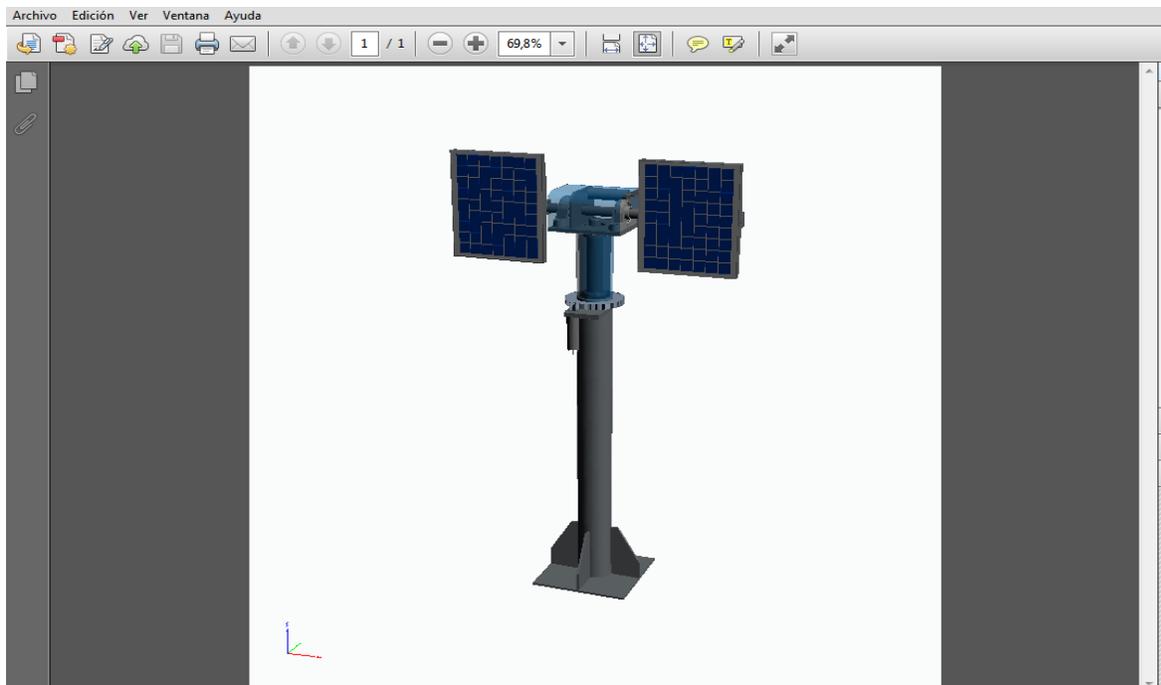
Simulaciones

El desarrollo del presente proyecto se ejecuta sobre la plataforma del software SolidEdge versión ST10, mediante el cual luego de realizar los acoples de los sólidos digitales, se realizaron “renders” que son extensiones de archivos conmutables para visualizaciones de diseños.

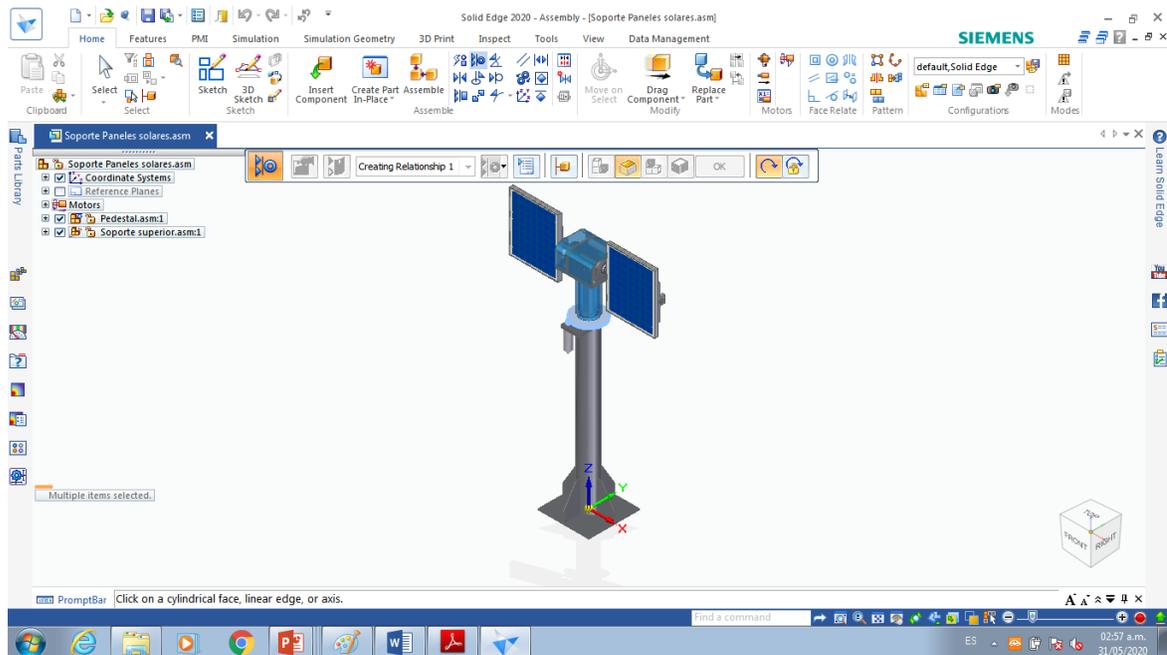
A partir del proyecto iniciado en el software, se pueden modificar la mayoría de las variables, sin que estén afecten el sistema en sí, sin embargo se deben estipular rangos de operaciones y modificaciones para su uso.

Se ha generado una versión liviana que simula un software CAD, pero ejecutado mediante una hoja de “portable document file”, PDF, extensión mediante el cual, se puede manipular desde los dispositivos de entrada de la computadora, los movimientos generales de los planos del panel, como se observa en las figuras 3-25 y 3-26.

Figura 3-25: “visualización y manipulación”



Fuente: Elaboración propia del autor (captura de pantalla Solid Edge)

Figura 3-26: “Visualización en Windows 7”

Fuente: Elaboración propia del autor mediante software SolidEdge st10; orientado a lectores de extensiones “pdf”.

4. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

A través del desarrollo del diseño, cálculos y fabricaciones digitales de las piezas del presente proyecto, se logra brindar un medio de implementación, algunos de los diversos medios disponibles, los cuales son indispensables para la fabricación de cualquier propuesta previa al desarrollo de un elemento físico.

Se realizaron los cálculos para obtener las características necesarias para determinar el tipo de elemento del dibujo del diseño, logrando dar gran margen de estabilidad al esquema del soporte.

Mediante el uso de los softwares, tales como los mencionados durante el desarrollo del presente documento se logró realizar el dibujo digital de las piezas digitales que componen la estructura del dibujo del diseño, de acuerdo a los resultados, se obtuvo una variación y amplio parámetro en cuanto a diversidad de paneles utilizados, de igual forma mediante los cálculos realizados mediante el software CAD, se determina la potencia necesario o ponderada, para generar los movimientos ideales para cuando se requiera llevar a implementación y elaboración el sistema.

Con el diseño del presente proyecto, se deja propuesto los pasos básicos necesarios para llevar a cabo proyectos similares los cuales, bajo estándares pueden lograr ser implementados a nivel estudiantil, donde puedan proponerse la utilización de energías renovables

Cabe resaltar que, en la ciudad de Cartagena, de acuerdo a su altitud, el suministro de energías limpias renovables es cercano a lo inagotable, entregando luz solar el mayor

tiempo del día durante todo el año, lo cual facilitaría el convencimiento de optimización al momento de implementar sistemas de seguidores solares, pues, aunque actualmente no se tiene carencias de servicio de suministro energético, sería en beneficio a nuestro planeta.

Recomendaciones

Debido a que la propuesta del proyecto es a escala pequeña, se recomienda tomar como referencia, el diseño electromecánico de la estructura, como diseño de laboratorio para demostrar la diferencia de desarrollo energético y potencial mediante el uso de paneles fijos y paneles con sistemas de seguidor solar.

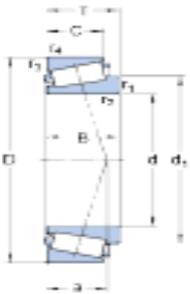
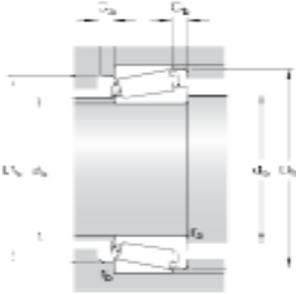
Implementado un sistema a gran escala, se debe tener muy puntualmente datos necesarios para la correcta operación, pues las afectaciones como la velocidad del viento, el deterioro de los elementos por corrosión, humedad, etc. pues de acuerdo a estos parámetros, se pueden determinar vida útil de los elementos, así como mantenimientos programables de sistemas de seguidores solares.

Queda plasmado el estudio previo de la parte ingenieril de un sistema electromecánico, con lo cual se logre permitir que futuros proyectos de ingeniería, tomen como referencia éste sistema, generando automatizaciones, llevando a cabo la elaboración y optimización, lo cual al momento de crear un sistema seguidor solar, pueda solventar y dar un aprovechamiento máximo de la energía solar, lo cual se vería reflejado en estudios, con los cuales mediante demostraciones, pueda determinarse y demostrarse que tan viable sería el diseño de un sistema estructural electromecánico para un seguidor solar de paneles fotovoltaicos.

Se recomienda el uso de softwares de cálculos, los cuales serán determinantes en cualquier diseño e implementación; tales como SolidEdge, HILTI PROFIS ANCHO, hilty, y la aplicación online SMB Bearings, dichos recurso funciona para diseñar proyectos de

cálculo de estructuras de manera rápida y fácil, se recomienda usar estas plataformas, debido a que pueden ser integrados simultáneamente los datos o cálculos, generando una mayor eficiencia en el desarrollo de proyectos. (CAD, 2020).

Anexo A: Especificaciones técnicas de los rodamientos

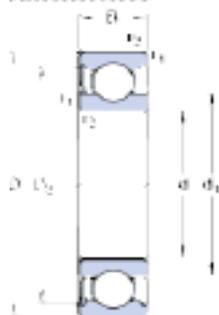
SKF																												
32912																												
SKF Explorer																												
Series de dimensiones	2BC																											
Dimensiones																												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>d</td> <td>60</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>85</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>17</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>d₁</td> <td>= 73.8</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>17</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>14</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>r_{1,2}</td> <td>min. 1</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>r_{3,4}</td> <td>min. 1</td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table>	d	60	mm	D	85	mm	T	17	mm	d ₁	= 73.8	mm	B	17	mm	C	14	mm	r _{1,2}	min. 1	mm	r _{3,4}	min. 1	mm			
d	60	mm																										
D	85	mm																										
T	17	mm																										
d ₁	= 73.8	mm																										
B	17	mm																										
C	14	mm																										
r _{1,2}	min. 1	mm																										
r _{3,4}	min. 1	mm																										
Dimensions																												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>15.452</td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table>	a	15.452	mm																								
a	15.452	mm																										
Dimensiones de los resaltes																												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>d_a</td> <td>max. 67</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>d_b</td> <td>min. 68</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>D_a</td> <td>min. 78</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>D_d</td> <td>max. 78</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>D_b</td> <td>min. 81</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>C_a</td> <td>min. 3</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>C_b</td> <td>min. 3</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>r_a</td> <td>max. 1</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>r_b</td> <td>max. 1</td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table>	d _a	max. 67	mm	d _b	min. 68	mm	D _a	min. 78	mm	D _d	max. 78	mm	D _b	min. 81	mm	C _a	min. 3	mm	C _b	min. 3	mm	r _a	max. 1	mm	r _b	max. 1	mm
d _a	max. 67	mm																										
d _b	min. 68	mm																										
D _a	min. 78	mm																										
D _d	max. 78	mm																										
D _b	min. 81	mm																										
C _a	min. 3	mm																										
C _b	min. 3	mm																										
r _a	max. 1	mm																										
r _b	max. 1	mm																										
Datos del cálculo																												
Capacidad de carga dinámica básica	C	53.2	kN																									
Capacidad de carga estática básica	C ₀	75	kN																									
Carga límite de fatiga	P _u	7.8	kN																									
Velocidad de referencia		6000	r/min																									
Velocidad límite		7000	r/min																									



6006-RS1

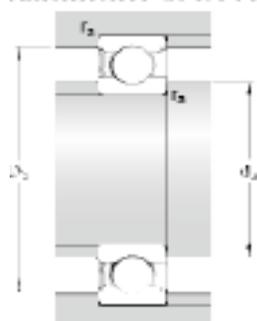
SKF Explorer

Dimensiones



d	30	mm
D	55	mm
B	13	mm
d_1	≈ 38.2	mm
D_2	≈ 49	mm
$r_{1,2}$	min. 1	mm

Dimensiones de los resaltes



d_a	min. 34.6	mm
d_a	max. 38.1	mm
D_a	max. 50.4	mm
r_a	max. 1	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	13.8	kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	8.3	kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.355	kN
Velocidad límite		8000	r/min
Factor de cálculo	k_f	0.025	
Factor de cálculo	f_0	15	

Masa

Rodamiento de masa	0.12	kg
--------------------	------	----

SYWK 25 YTH

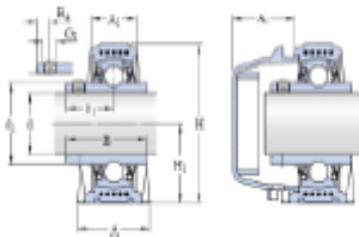
Pillow block ball bearing units



Technical specification

	Compliance with standard
	Purpose specific
	Purpose specific
	Housing material
	Sealing solution

DIMENSIONS



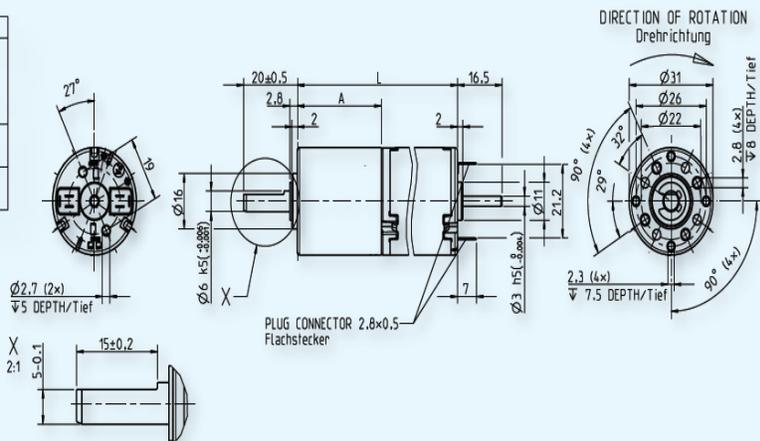
d	25 mm
d ₁	≈ 33.74 mm
A	32 mm
A ₂	22 mm
A ₅	26 mm
B	34.1 mm
B ₄	5 mm
H	70.5 mm
H ₁	36.5 mm
H ₂	16 mm
J	105.5 mm

Anexo B: Planos de motor

Stock Service

Gearbox Type	Gear Motor Type	A	L
1-stage 1-stufig	1.61.077.410	25	100.5
	1.61.077.417		
	1.61.077.420		
2-stage 2-stufig	1.61.077.411 - 413	31.1	106.6
	1.61.077.421 - 423		
3-stage 3-stufig	1.61.077.414 - 416	37.5	88.5
	1.61.077.424 - 426		

Gear Motor
31 x 100 / 106 / 88
1.61.077.4XX



Anexo C: Especificaciones del AISI 1020.

Ficha Técnica de Material



ACERO AISI - 1020

1. Introducción

El objetivo de este documento es especificar las características químicas y propiedades del material ACERO AISI - 1020. Acero al carbón.

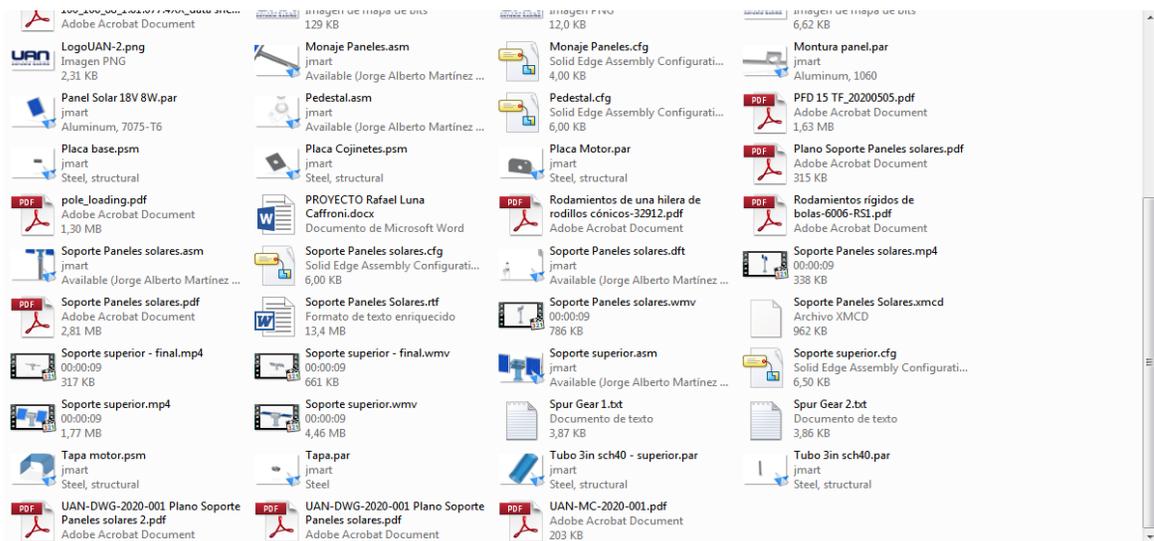
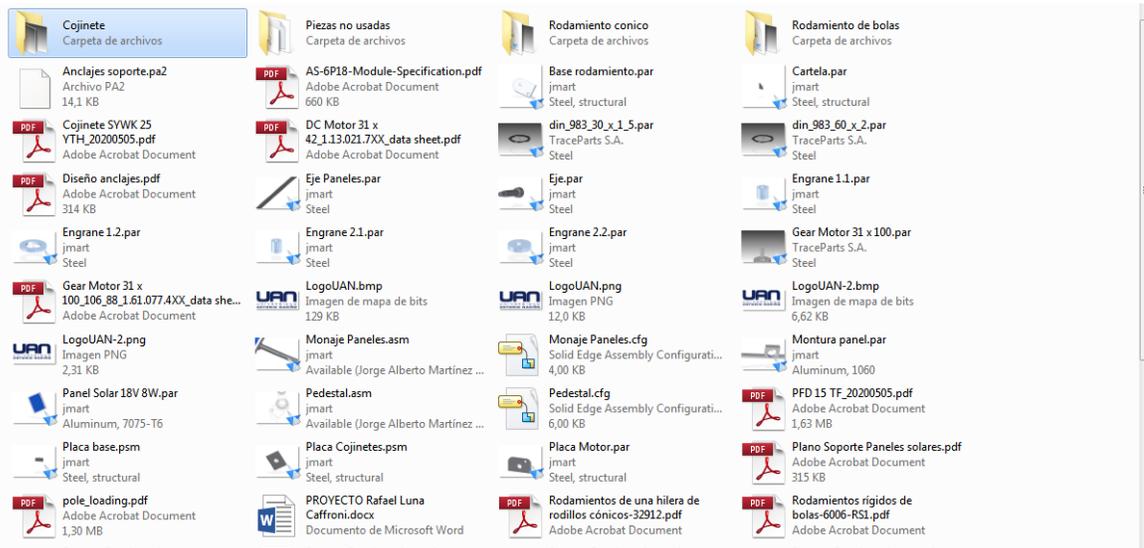
2. Propiedades

2.1 Composición Química

Componente	Símbolo	% Mínimo	% Máximo
Carbono	C	0.18	0.23
Manganeso	Mn	0.3	0.6
Fósforo	P	-	0.40 Max
Azufre	S	-	0.50 Max
Fierro	Fe	Balance	Balance

Anexo D: Sesión de archivos de Solid Edge

Se anexa en carpeta comprimida, y en medio físico (CD), los archivos pertinentes a los diseños de piezas y simulaciones en el software usado. (Peso = 61.669.705 bytes).



5. Bibliografía

- Alumina. (5 de junio de 2020). *Alumina*. Obtenido de <https://alumina.com/features>
- Buehlermotor. (6 de mayo de 2020). *Fuente:https://www.buehlermotor.com/*. Obtenido de [Fuente:https://www.buehlermotor.com/fileadmin/user_upload/downloads/broschueren/product_range/](https://www.buehlermotor.com/fileadmin/user_upload/downloads/broschueren/product_range/)
- CAD, h. (2020). *www.us.hilti.com/bim*. Obtenido de www.us.hilti.com/bim
- CARMONA Enrique y ESPINA Alba. (2013). Trabajo de grado "Diseño e implementación de un sistema automático de seguidor solar para un generador fotovoltaico, instalado en la finca la paz" universidad Antonio Nariño. Facultad de Ingeniería electrónica. Cartagena.
- Copérnico, Kepler y Galileo. (1961). "*PIJOAN*" *Historia del Mundo. Tomo IV. online en "* <http://www.oscarbarajas.com/mecanica.html>". Salvat Editores S.A.
- D.Fliess, E. (s.f.). Estructuras Libro, Mecánica "ESTABILIDAD II" recuperados de "mecánica aplicada". En *Estabilidad* .
- dahsolarpv. (08 de mayo de 2020). *dahsolarpv*. Obtenido de {En línea}.: https://es.dahsolarpv.com/air-serial-poly-solar-module-60cells-265w-295w_p21
- Díaz, M. C.-E. (2011). Mecánica de estructuras libro 1. En *Resistencia de materiales*. POLITEXT 111.
- Editores, S. (1957). Diccionario Enciclopédico . Tomo VIII IN-MAO. . En *Salvat*. Barcelona – Madrid.: Salvat Editores S.A.
- Ferdinand P. Johnston E Russell. (s.f.). *BEER Mecánica Vectorial para Ingenieros*. Mc Graw Hill.
- Ferrer y Lacasa. (2012). *Diseño y fabricación de un seguidor solar de un eje Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad de Zaragoza*.

- Ferrocortes. (2012). *www.Ferrocortes.com*. Obtenido de <https://www.ferrocortes.com.co/aisi-sae-1020/>
- Fuentevilla J.S. (2012). *Diseño y Construcción De Un Sistema De Seguimiento Fotovoltaico "univerdidad tecnologica de la Mixteca"*.
- García, Ó. (2009). Diseño de un seguidor solar. Universidad Carlos iii de Madrid. En *Diseño de un seguidor sola*.
- Guardado Gutiérrez, D. &. (2012). *Implementación de seguidor solar en dos ejes para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES. Universidad de El Salvador*.
- La revista. (2014). *la revista informatica ARTICULOS*. Obtenido de <http://www.larevistainformatica.com/DISENO-ASISTIDO>
- Luis Efraín R. (2015). *Investigación y Desarrollo Mexicano, emplean seguidores solares para generar 20 mil kilowatts al año en museo*. Obtenido de
- Nisbett, r. G. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigle. En *Diseño en ingeniería mecánica de Shigle*. mc graw hill.
- NTC 2050. (2020). *CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO*. Obtenido de certificación, ICONTEC Instituto colombiano de normas técnicas: www.icontec.org/lanzamiento-codigo-electrico-colombiano-ntc-2050
- Orbegozo, C. y. (2010). *Energía Solar Térmica, manual tecnico para Termas solares*.
- Organisation, W. W. ((2017)). *www.wdo.org*. Obtenido de <https://wdo.org/about/definition/>
- RETIE, G. n. (2019). *REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/>
- Richard G Budynas & J Keith Nisbett . (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigle "novena edición"*. Mc graw hill.
- Salamanca Ávila S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. *Energías*. Obtenido de Salamanca-Ávila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica.
- Salamanca Ávila S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. *Energías*. Obtenido de Salamanca-Ávila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica.

- SKF Group . (2019). *SKF*. (SKF COLOMBIA) Obtenido de <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/productid-32912>
- SKF groupe. (2016). *WWW.SKF.COM*. Obtenido de [https://www.skf.com/au/products/SYWK 25 YTH](https://www.skf.com/au/products/SYWK_25_YTH)
- SKF, Groupe. (2016). *WWW.SKF.COM*. (SKF CAD) Obtenido de <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6006-RS1>
- SKG Group. (2016). *WWW.SKF.COM*. Obtenido de skf: [www.skf.com/ 6006-RS1](http://www.skf.com/6006-RS1)
- skyciv. (s.f.). *skyciv.com/es/free-beam-calculator/*. Obtenido de <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>
- SmbBearings. (10 de junio de 2020). <https://www.smbbearings.com/>. Obtenido de en línea: <https://www.smbbearings.com/technical/bearing-frictional-torque.html>
- Vásquez, R.A. & Jeison, D.N. (2012.). *Evaluación del potencial de generación eléctrica mediante el aprovechamiento de energía solar en el departamento de córdoba*.