

# Universidad autónoma del estado de Morelos

Facultad de Ciencias Químicas e  
Ingeniería

## Diseño de un sistema de seguimiento automático para un generador fotovoltaico de pequeña potencia

Tesis profesional para obtener el grado de:

Ingeniero Mecánico

Presenta:

Tlatempa Jiménez Marvin David

Asesor: Dr. Luis Cisneros Villalobos

## Resumen

El presente escrito se presenta con la problemática que existe en la actualidad sobre el calentamiento global, debido a la quema de combustibles de manera incesante, se tocan los orígenes de los combustibles no renovables, los cuales son utilizados de manera perpetua dañando el medio ambiente, dando como origen a propuestas como las energías renovables, siendo en principio energías con baja eficiencia, sin embargo, el desarrollo de las tecnologías han permitido evolucionar a los sistemas de energía renovable tal como los conocemos hoy en día.

Mediante el proceso de investigación documental se indaga en las implementaciones que conlleva estimar las condiciones de operación de un sistema fotovoltaico, de modo que su rendimiento en la zona implementada gratifique las necesidades de transformación de energía solar a energía eléctrica. Esta considerado dentro de este escrito la función que cumple las células fotovoltaicas, así como el material del que están fabricadas, también se toma en consideración los distintos formatos de paneles fotovoltaicos, los cuales se adaptan a las condiciones de implementación en el los sistemas.

Posteriormente se tratan los tres tipos de instalaciones de los sistemas, los cuales permiten proveer de energía a un solo sector, formar parte de las grandes redes eléctricas o ambas, siendo la instalación mixta una combinación de las dos maneras anteriormente mencionadas. Dentro de estas instalaciones se tocan temas como los componentes fundamentales que necesita cada instalación.

Se tocan el tema de la trayectoria terrestre y la trayectoria del sol visto desde la perspectiva humana, esto fue fundamental para los primeros diseños de sistemas fotovoltaicos dado que permiten estimar lo que un panel estático podría captar en la media de un día, tomando en consideración los factores climáticos y la cantidad de irradiancia que llega a las zonas de cada hemisferio.

Al presentar la alternativa de desplazar el panel fotovoltaico de manera radial tanto horizontalmente como verticalmente se propone la utilización de componentes como los fotorresistores, motor a pasos y servomotores, se explica el concepto de cada componente dando a entender la función que podría cumplir en el sistema.

Se presentan dos propuestas las cuales utilizaron como método de seguimiento los fotorresistores, motores a pasos y servomotores, los cuales presentan un incremento de energía recabada, dichas propuestas sirvieron de base para proponer el nuevo diseño.

Posteriormente se explica el tema de las coordenadas, círculos que dividen la tierra y zonas en las que recae la irradiancia solar, con el motivo de determinar la ubicación en la que se colocara el sistema fotovoltaico. En el tema se desglosan conceptos como longitud, latitud, altitud, la forma de notación para representarse o dar a entender una orientación específica.

También se aborda el origen de los distintos tipos de clima y la explicación de cómo es que en ciertas zonas del planeta recae la mayor cantidad de energía a comparación de otras partes, posteriormente se dan bases teóricas de lo que pasa con la radiación que entra en contacto con la atmosfera de la tierra, el comportamiento que tiene y las variaciones que tienen cuando llegan a impactar al sistema fotovoltaico. Además, se dan referencias de instrumentos de medición, los cuales sirven para cuantificar la radiación solar.

A continuación, se toma en consideración los conceptos de la mecánica, estática, dinámica, cinemática y cinética, esto con el fin de identificar los principios fundamentales de la estructura. En el apartado subsecuente se encuentran los conceptos estructura, mecanismo, máquina, eslabones y par cinemático, los cuales son fácilmente identificados por una breve descripción.

Se prosigue con el tema de mecánica de materiales en donde se explica los principios básicos del comportamiento de un material y su manera de

modificarse ante la acción de una magnitud de fuerza sobre su área, dentro de las palabras claves se denota esfuerzos, esfuerzo normal, esfuerzo cortante y estados de esfuerzos.

Para adaptar el control del sistema se toma bases de los principios de la mecatrónica en donde se explica la manera en que interactúa los componentes electrónicos con las fuerzas físicas, de modo que la información nos permita modificar la orientación de la estructura del sistema fotovoltaico. Dentro del apartado se hace referencia a los sistemas de medición, los cuales se encargan cuantificar la magnitud física, estos sistemas se conforman por sensores, acondicionadores y visualizadores. También se habla de los sistemas de control, los cuales regulan la entrada de la magnitud recibida y dependiendo el sistema cerrado o abierto retroalimentara el valor que debe implementar el sistema o dejar que el sistema siga sin ninguna alteración. También se tocan el concepto de microprocesadores el cual funciona como reguladores de información y almacén de memoria, además se habla de microcontroladores los cuales son micro procesadores con memorias adicionales y los sistemas integrados que son un conjunto de microprocesadores los cuales están programados predeterminadamente para ejecutar ciertas funciones de compuertas lógicas, por último se considera el concepto de programación en donde se explica lo que es un lenguaje de programación.

En el tercer capítulo se plasma el dibujo del sistema fotovoltaico en el CAD FreeCAD en donde se muestra las dimensiones de lo que podría ser el prototipo, también se generan tablas de dimensiones y características intensivas para poder determinar los esfuerzos en el material, además de aplicar la herramienta de elementos finitos para el cálculo dichos esfuerzos. Además, se expone la funcionalidad de las secciones de la estructura, así como también el algoritmo y el esquema que ejecutara la programación del sistema.

## Summary

This paper is presented with the problem that exists today on global warming, due to the incessant burning of fuels, the origins of non-renewable fuels, which are used perpetually damaging the environment, giving rise to proposals such as renewable energy, being in principle energies with low efficiency, however, the development of technologies have allowed to evolve to renewable energy systems as we know them today.

By means of the documentary research process, it is investigated the implementations involved in estimating the operating conditions of a photovoltaic system, so that its performance in the implemented area will meet the needs of transforming solar energy into electrical energy. This paper considers the function of photovoltaic cells, as well as the material from which they are made, and also takes into consideration the different formats of photovoltaic panels, which are adapted to the conditions of implementation in the systems.

Subsequently, the three types of system installations are discussed, which allow supplying energy to a single sector, being part of the large electrical grids or both, being the mixed installation a combination of the two aforementioned ways. Within these installations, topics such as the fundamental components required for each installation are discussed.

This was fundamental for the first designs of photovoltaic systems since they allow estimating what a static panel could capture in the average of a day, taking into consideration the climatic factors and the amount of irradiance that reaches the areas of each hemisphere.

When presenting the alternative of moving the photovoltaic panel radially both horizontally and vertically, the use of components such as photoresistors, stepper motors and servomotors is proposed, the concept of each component is explained, giving an understanding of the function it could fulfill in the system.

Two proposals are presented which used photoresistors, stepper motors and servomotors as a tracking method, which present an increase in the energy collected, these proposals served as a basis for proposing the new design.

Subsequently, the topic of coordinates, circles that divide the earth and zones where the solar irradiance falls, is explained in order to determine the location where the photovoltaic system will be placed. In the subject, concepts such as longitude, latitude, altitude, and the notation form to represent or to understand a specific orientation are broken down.

It also addresses the origin of the different types of climate and the explanation of how it is that in certain areas of the planet falls the greatest amount of energy compared to other parts, then theoretical basis of what happens with the radiation that comes into contact with the earth's atmosphere, the behavior it has and the variations they have when they come to impact the photovoltaic system. In addition, references are given for measuring instruments, which are used to quantify solar radiation.

Next, the concepts of mechanics, statics, dynamics, kinematics and kinetics are considered in order to identify the fundamental principles of the structure. In the subsequent section, the concepts structure, mechanism, machine, links and kinematic torque are found, which are easily identified by a brief description.

The topic of mechanics of materials is followed by an explanation of the basic principles of the behavior of a material and how it changes under the action of a magnitude of force on its area, where the key words are stress, normal stress, shear stress and stress states.

We continue with the subject of mechanics of materials where we explain the basic principles of the behavior of a material and its way of being modified before the action of a magnitude of force on its area, within the key words stresses, normal stress, shear stress and stress states are denoted.

In order to adapt the control of the system, the principles of mechatronics are used to explain the way in which the electronic components interact with the physical forces, so that the information allows us to modify the orientation of the structure of the photovoltaic system. Within the section, reference is made to the measurement systems, which are responsible for quantifying the physical magnitude, these systems are made up of sensors, conditioners and displays. It also discusses the control systems, which regulate the input of the magnitude received and depending on the closed or open system feedback the value to implement the system or let the system continue without any alteration. The concept of microprocessors which function as information regulators and memory storage is also discussed, in addition to microcontrollers which are microprocessors with additional memories and integrated systems which are a set of microprocessors which are programmed by default to perform certain functions of logic gates, finally the concept of programming is considered where it is explained what a programming language is.

The third chapter shows the drawing of the photovoltaic system in CAD FreeCAD, where the dimensions of what could be the prototype are shown, dimension tables and intensive characteristics are also generated in order to determine the stresses in the material, in addition to applying the finite element tool for the calculation of these stresses. In addition, the functionality of the sections of the structure is exposed, as well as the algorithm and the scheme that will execute the programming of the system.

## Dedicatorias y Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis padres por brindarme el apoyo, educación e impulso que un hijo podría necesitar, el gran sacrificio que hicieron por darme la oportunidad de ser un profesional es uno de los más bellos legados, espero poder pagárselos pronto, el presente escrito se los dedico a ellos como ofrenda en honor a su esfuerzo.

Querida madre no tengo manera de pagarte todas las veces que te preocupaste por mí, las lágrimas que posiblemente no vi en el momento de mi partida, pero puedo ver tu rostro de alegría y confort al ver que formaste un profesional, te agradezco mucho esas llamadas por las noches para preguntarme como estaba, las comidas que me preparaste con tanto esmero, más que nada gracias por el cariño y atención a lo largo de mi vida.

Querido padre, gracias por haberme inculcado la fortaleza y la valía de la perseverancia, enormemente te agradezco las veces que me llevabas a prisa a la terminal de autobuses para convertirme en lo que soy, gracias por darme apoyo junto con mi madre en esas breves llamadas por teléfono, no tengo manera de agradecer que me hallas formado tal y como soy, además de haberme dado tu respaldo a lo largo de la vida.

Con todo mi amor para mis padres, Yadira Jiménez Hernández y David Tlatempa Martínez.

Queridos hermanos estuvieron brevemente con nosotros, pero no olvidare la ilusión que nos causó su existencia, y a pesar de que no estén presentes conmigo les agradezco el hecho de ser su hermano mayor, además de enseñarme que a pesar de su ausencia tuvieron repercusión en mi decisión de no desistir en honor a su memoria, los tengo muy en el fondo de mi corazón y espero seguir enorgulleciéndolos, el triunfo también es para ustedes David Tlatempa Jiménez y José Antonio Tlatempa Jiménez.



Agradezco a mis familiares por haberme ayudado con sus valerosos consejos, sus incesantes ánimos y por apoyarme por cualquier medio, desde mis adentros les agradezco los pequeños pero significativos instantes al lado de cada integrante de mi familia. Agradezco a mis abuelos paternos Teodora Martínez Jiménez y Marcelino Tlatempa Flores por apoyarme con materiales y herramientas, así como sus conocimientos y plegarias, a mi abuela materna Cleotilde Hernández Chauteco por sus cálidos cuidados y crianza.

A mis compañeros y amigos que conocí durante la carrera, tanto de mi ramo académico como externos, les agradezco las risas, retroalimentación académica, los ánimos durante la carrera y por compartir una parte de nuestras vidas, agradezco haberlos conocido y tener una amistad con ustedes.

A mis profesores, asesores y profesionales académicos que aportaron sus conocimientos y esfuerzos a lo largo de la carrera.

Para mi persona especial, mi novia, agradezco haberte conocido, me has motivado a pensar de una manera productiva y dedicada, te agradezco mucho el interés que has puesto en mí, no tan solo sentimental mente, también, en mi visión a futuro. Así como mis padres, me miras de manera extraordinaria, lo cual es algo invaluable en la vida, quiero seguir cosechando triunfos a tu lado y observar nuestro crecimiento juntos. Con amor y cariño para Zaira Irani Abarca Martínez.

Agradezco profundamente a mi ser, no haberse dado por vencido en momentos difíciles, haber dado lo mejor y haber perseverado en momentos en donde yo mismo pensé que no lo lograría, estoy orgulloso de haber culminado la carrera y a pesar de que es el fin del plan de estudios, lo cierto es que solo es el comienzo a un panorama amplio dentro del mundo de la ingeniería, aún falta información que aprender y conocimientos por descubrir. Sigue adelante Marvin David Tlatempa Jimenez, lo interesante apenas comienza.

## INDICE

Resumen .....	2
Summary .....	5
Dedicatorias y Agradecimientos.....	8
Índice de figuras .....	12
Índice de tablas .....	14
Capítulo 1 .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Planteamiento de la hipótesis .....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Metas .....	5
1.6 Metodología.....	5
1.7 Antecedentes de la energía fotovoltaica.....	5
1.8 Importancia de la generación fotovoltaica.....	7
1.8.1 Concepto de energía .....	7
1.8.2 Beneficios de los paneles fotovoltaicos.....	8
1.9 Tecnología fotovoltaica .....	9
1.9.1 Función de los materiales P-N .....	10
1.9.2 Componentes de la instalación y tipos de instalaciones .....	15
1.9.2.1 Elementos de instalación.....	15
1.9.2.2 Instalación aislada .....	16
1.9.2.3 Instalaciones conectadas a la red eléctrica .....	18
1.10 La trayectoria de la irradiancia del sol.....	18
1.10.1 Trayectoria de la tierra .....	18
1.10.2 Esfera celeste .....	19
1.11 Fotorreceptor, motor a pasos y servomotor .....	20
1.12 Ejemplos de sistemas fotovoltaicos o prototipos puestos a prueba .....	21
1.12.1 Ejemplo 1 .....	21
1.12.2 Ejemplo 2 .....	23

Capítulo 2 .....	26
2.1 Coordenadas geográficas y su relación con la radiación solar .....	26
2.2 Zona en el que se instala el Sistema de seguimiento solar de baja potencia .....	28
2.3 Principios de mecánica .....	32
2.3.1 Teoría de diseño de máquinas y mecanismos .....	32
2.4 Principios de mecánica de materiales. ....	33
2.5 Principios de mecatrónica .....	36
2.5.1 Función del sensor y el fotorresistor .....	39
2.5.2 Acondicionamiento de señales por modulación por pulsos .....	39
2.5.3 Conceptos de programación .....	41
Capítulo 3 .....	42
3.1 Estructura del sistema fotovoltaico .....	42
3.1.1 Medidas de los elementos que conforman la estructura .....	45
3.2 Análisis de esfuerzos .....	57
3.3 Circuito eléctrico .....	62
3.4 Funcionamiento del seguidor por fotorresistores .....	63
Conclusión .....	65
Bibliografía .....	66

## Índice de figuras

Figura 1. Partes que conforman una célula fotovoltaica y panel fotovoltaico. (MESSENGER, 2010).....	9
Figura 2. Esquema del circuito del flujo eléctrico en un panel fotovoltaico. (Papadopoulou, 2011).....	11
Figura 3. Tecnologías fotovoltaicas desarrolladas. (Valdiviezo Salas, 2014).....	13
Figura 4. Sistema de concentración aplicado a un panel fotovoltaico. (Ruiz Ortega, 2013) ...	14
Figura 5. Paneles en forma de tejado. (Ruiz Ortega, 2013) .....	14
Figura 6. Panel bifacial. (Ruiz Ortega, 2013).....	15
Figura 7. Sistema fotovoltaico conectado a una carga. (Valdiviezo Salas, 2014).....	17
Figura 8. Sistema fotovoltaico con regulador y batería. (Valdiviezo Salas, 2014) .....	17
Figura 9. Sistema fotovoltaico conectado a un inversor de corriente. (Valdiviezo Salas, 2014) .....	17
Figura 10. la primera representación muestra la esfera topo céntrica mientras que la segunda representa la esfera geocéntrica. (Baume, 2014) .....	19
Figura 11. Esquema de un sistema de seguimiento fotovoltaico. (Mejia, 2010) .....	22
Figura 12. Tren de engranes impulsados por un motor. (Cardozo, 2014) .....	25
Figura 13. Sistema de seguimiento fotovoltaico con dos ejes. (Cardozo, 2014) .....	25
Figura 14. Diagrama de los tipos de radiación. (Vázquez Mola, 2016) .....	30
Figura 15. Representación del albedo en la nieve y arena. (Rosa Maria Rodríguez Jiménez, 2004).....	31
Figura 16. Representación del esfuerzo normal y esfuerzos cortantes en un plano. (Hibbeler, 2011).....	34
Figura 17. Estado de esfuerzos que actúa alrededor de un punto en el cuerpo de un material. (Hibbeler, 2011) .....	35
Figura 18. Descripción de un sistema de medición. (Bolton, 2017).....	37
Figura 19. Ciclo de trabajo de un PWM. (Bolton, 2017) .....	40
Figura 20. Estructura base.....	42
Figura 21. Capula móvil de la estructura a 90°.....	43
Figura 22. Capula ubicada en 0°.....	43
Figura 23. Revolutas interconectadas para transmitir giro de manera horizontal. ....	43
Figura 24. Ejes soportados por dos arcos los cuales restringen y permiten que el panel gire de manera vertical. ....	44
Figura 25. Estructura total.....	44
Figura 26. Columna en su forma básica. ....	45
Figura 27. Viga en su forma base. ....	45
Figura 28. Columna de la segunda base. ....	46
Figura 29. Columnas conectadas a la base que soportara al panel solar. ....	46
Figura 30. Eje conectado a la base que soportara al panel solar. ....	46
Figura 31. Placa circular en su forma base. ....	47
Figura 32. Segunda base con vacancia para revoluta generada a partir del plano con la herramienta de revolución de freecad.....	48

Figura 33. Plano total de la segunda base. ....	48
Figura 34. Plano parcial de la segunda base, donde en vez de tener un hueco como en la revoluta esta tiene una parte sobresaliente. ....	48
Figura 35. Revoluta generada por la herramienta de revolución de freecad. ....	49
Figura 36. Plano de la revoluta. ....	49
Figura 37. Sección vacante del plano de la revoluta, esta parte permitirá girar y ensamblar la revoluta. ....	49
Figura 38. Plano total del eje. ....	50
Figura 39. Plano parcial del eje en donde muestra una vacancia para ensamblar lo en los arcos, esto aplica en los dos extremos del eje. ....	50
Figura 40. Eje conectado a la base que soportara al panel solar. ....	50
Figura 41. Esfera mayor generada por herramienta de revolución. ....	51
Figura 42. Plano de la esfera mayor. ....	51
Figura 43. Esfera menor generada por la herramienta revolución. ....	52
Figura 44. Plano total de la esfera menor. ....	52
Figura 45. Perspectiva de la esfera donde se aprecia la vacancia para el riel. ....	52
Figura 46. Plano parcial de la esfera menor, donde se visualiza las medidas para ensamblarse con un riel. ....	53
Figura 47. Pieza conformada por las dos semi circunferencias de las cupulas. ....	54
Figura 48. Cupulas seccionadas en la parte superior. ....	54
Figura 49. Plano del corte para la tercera base en la cúpula mayor. ....	54
Figura 50. Plano del corte para la tercera base en la cúpula menor. ....	54
Figura 51. Pieza extruida del plano mayor y recortada por la pieza del plano menor. ....	56
Figura 52. Plano del arco menor. ....	56
Figura 53. Plano del arco mayor. ....	57
Figura 54. Propiedades de la madera genérica, predeterminada en el software Freecad. ....	59
Figura 55. Desplazamiento máximo en la columna, simulado en FEM de freecad. ....	60
Figura 56. Desplazamiento máximo en la viga, simulado en FEM de freecad. ....	60
Figura 57. Desplazamiento máximo en el conjunto de columnas y vigas, simulado en FEM de freecad. ....	60
Figura 58. Desplazamiento máximo en la placa circular, simulado en FEM de freecad. ....	60
Figura 59. Desplazamiento máximo en la cúpula mayor, simulado en FEM de freecad. ....	61
Figura 60. Desplazamiento máximo en la cúpula menor, simulado en FEM de freecad. ....	61
Figura 61. Desplazamiento máximo en la segunda revoluta, simulado en FEM de freecad. ....	61
Figura 62. Desplazamiento máximo en el soporte, simulado en FEM de freecad. ....	61
Figura 63. Desplazamiento máximo en el eje, simulado en FEM de freecad. ....	61
Figura 64. Desplazamiento máximo en la base del panel, simulado en FEM de freecad. ....	61
Figura 65. Circuito eléctrico para prototipo con servomotores, vasado del trabajo “ (Martínez Alvarez, 2017)” . ....	63
Figura 66. Algoritmo del seguidor solar automático del trabajo (Martínez Alvarez, 2017). ....	64

## Índice de tablas

Tabla 1. Materiales usados en los paneles fotovoltaicos con su rendimiento (Perdices, 2008). .....	11
Tabla 2. Potencia de un sistema fotovoltaico en estado estático. (Mejia, 2010) .....	22
Tabla 3. Potencia de un sistema fotovoltaico en estado dinámico. (Mejia, 2010) .....	23
Tabla 4. Medidas de prismas rectangulares. ....	45
Tabla 5. Cilindros de la estructura. ....	47
Tabla 6. Medidas de Esferas. ....	50
Tabla 7. Componentes complejos. ....	53
Tabla 8. Masa, peso, dimensiones y costos de los elementos más notables en el sistema fotovoltaico. ....	57
Tabla 9. Volumen, masa y peso de las partes de la estructura del sistema fotovoltaico. ....	59
Tabla 10. Resultados de desplazamiento máximo en los elementos sometidos a peso, aplicando FEM en Freecad. ....	60
Tabla 11. Estrés principal, esfuerzo cortante y Von mises estres. ....	62

# Capítulo 1

## 1.1 Descripción del problema

Las fuentes de energía no renovables en principio fueron de gran apoyo para los primeros pasos hacia el desarrollo de la humanidad, sin embargo, dichas propuestas de energía se ven reflejadas en la devastación del medio ambiente, ante el inminente deterioro a causa del progreso humano se implementaron métodos de transformación de energía los cuales reducen la contaminación, no obstante, dichas propuesta en sus inicios presentaron una escasa eficiencia energética, por lo cual, dicha propuesta parecía insostenible a demandas energéticas, paulatinamente se ha trabajado en la implementación de materiales que garanticen la fiabilidad en los sistemas.

Las energías renovables son aquellas que perduran después de haber sido consumidas, por lo contrario, las energías no renovables son aquellas que después de consumirse no es sencillo volver a extraerlas de la misma fuente, dicha fuente de poder agrega efectos perjudiciales al planeta, causando desequilibrios en ecosistemas. Ante tal problema surgen fuentes de energía renovable como: eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz, térmica solar, fotovoltaica, entre otras.

Las distintas maneras de transformar la energía brindan distintos resultados en cuanto a obtención de energía eléctrica se refiere, en este caso en particular, el trabajo está enfocado en la energía fotovoltaica.

Los inicios de los sistemas fotovoltaicos fueron de escasa eficiencia, sin embargo, los avances en el campo de los materiales sensibles a la luz permitieron incrementar su utilidad, no obstante, dichos sistema aún se encuentran limitados, por lo que, es preciso aplicar métodos que magnifica la transformación de energía solar, dicha metodología consiste en prolongar la

incidencia perpendicular de energía lumínica. Esta acción se consigue manteniendo el panel en movimiento, con el propósito de que la energía incida de la manera adecuada, es necesario implementar un sistema de seguimiento autónomo, el cual permitirá ubicar el sistema fotovoltaico de la manera más conveniente para una mayor transformación de energía, por lo consiguiente obtiene una mayor tasa de electricidad recabada por un sistema de energía renovable.

Gracias a dichos sistemas benefician a sectores aislados, los cuales no se encuentran conectados en redes convencionales de distribución eléctrica, así mismo brindando una mejor calidad de vida para las personas que carecen de alumbrado, internet y sistemas de refrigeración, en otras palabras, generar luz en lugares aislados provendría servicios en los cuales dichas ubicaciones son ausentes.

## 1.2 Planteamiento de la hipótesis

Anteriormente se mencionó que la posición del sistema fotovoltaico es crucial para brindar mayor energía, por lo tanto, se debe tomar apoyo de elementos mecánicos los cuales posibiliten la movilidad de los componentes, se debe examinar el tipo de desplazamiento al momento de implementarse en el diseño. El desplazar el panel en direcciones radiales proveerá un mecanismo con un eje de movilidad, mientras que si se desplaza radialmente de manera vertical y horizontal se tendrían dos ejes de movimiento.

Otra de las características de dicho sistema es que pueda detectar y reorientar el panel en la posición más conveniente para captar la radiación solar. Dos patentes norteamericanas las cuales trabajan con fluidos, el cual uno de ellos se basa en la expansión y contracción de gas, mientras que el segundo se base en la variación de peso de un líquido contenido en un recipiente, el cual al evaporarse genera un desplazamiento.



También se ha desarrollado un sistema de seguimiento por sensores, la base de su funcionamiento es ejercida por parte de fotorresistores y motores los cuales cambian la dirección de acuerdo con la radiación recibida. Cabe mencionar que uno de los inconvenientes de este diseño, es cuando los sensores no captan la luz debido a interferencia entre la radiación y cualquier objeto.

Los sistemas de ubicación especifican puede dirigir el panel gracias a coordenadas calculadas, este método es efectivo ante días nublados, esto quiere decir que el desplazamiento ya está predeterminado por un programa y no se orienta en base al movimiento del sol, dicha acción está programada en un software el cual se puede modificar y mejorar el desplazamiento a voluntad.

En los métodos anteriores presentaron una recaudación superior de energía en contraste con las estructuras estáticas.

Se sospecha que hay dos maneras en que se puede generar mayor tasa de energía:

Modificar los materiales receptores de radiación solar o exponer las celdas fotovoltaicas de manera prolongada a la radiación solar.

Por lo tanto, se sospecha que la importancia del diseño que brinde movimiento periódico en sistemas de celdas fotovoltaicas repercute en la captación de la energía obtenida.

### 1.3 Justificación

Una de las fuentes de energía renovables es la energía del sol, ante ello se considera la importancia de las celdas fotovoltaicas, dado a que el movimiento rotacional de nuestro planeta solo es capaz de brindar una fracción de su energía cuando el sistema es estático. Es notable contar con un método

autónomo de seguimiento, esto permite captar energía solar de una forma eficiente, puesto que, el ángulo en que incide el destello de luz en la celda es crucial para generar dicha energía.

Algunos estudios revelan que el reposicionar el sistema cada periodo de tiempo aumenta la eficiencia de carga, en comparación, si se dejara de manera estática durante los diferentes periodos de exposición.

Por lo tanto, una de las ventajas de los sistemas de seguimiento es que podemos contar que el sistema abarcará menor espacio generando la misma cantidad de energía que si se usan un sistema estático de mayor dimensión.

Dichos sistemas son utilizados para brindar servicio eléctrico, de esta manera se aporta energía en lugares marginados de las redes convencionales, a su vez, disminuye las emisiones de dióxido de carbono en el momento de transformar la luz solar a energía eléctrica, adicionando que, las reservas de combustibles fósiles se van agotando dado al incesante uso de manera cotidiana, dichas fuentes de poder tardan en renovarse, dado que su proceso de transformación en la naturaleza es lento en comparación con la demanda energética en constante crecimiento.

La disponibilidad de dicha fuente de energía la vuelve versátil dado que se puede aplicar tanto en lugares fuera de redes o como complemento en redes convencionales.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Proyectar las características mecánicas de un sistema autónomo de seguimiento solar para generación de energía eléctrica de pequeña escala mediante un programa de diseño asistido por computadora, utilizando las características de componentes mecánicos y eléctricos actuales.

#### 1.4.2 Objetivos específicos

Recabar los principios para el desarrollo de un sistema fotovoltaico de seguimiento autónomo.

Recabar información sobre el funcionamiento de sistemas ya existentes y sus condiciones de operación.

Diseñar el mecanismo el cual permita cierta movilidad al sistema fotovoltaico con ayuda de un software de dibujo.

#### 1.5 Metas

Diseñar un sistema de seguimiento autónomo.

Plasmar dicho diseño en diagramas detallados los cuales sean fáciles de comprender.

Estimar que el diseño sea funcional para las cargas que debe soportar.

#### 1.6 Metodología

Método de análisis y síntesis:

Este método fue propuesto por René Descartes, el cuál separaba el problema en partes, lo que permite comprender la situación de manera clara e individual de una parte específica del todo de un problema, este parte del método se conoce como análisis, es la parte encargada de reunir los fragmento o componentes de un problema se le llama síntesis, la cual estudia el problema de manera conjunta.

#### 1.7 Antecedentes de la energía fotovoltaica

A partir de tiempos ancestrales la energía ha sido imprescindible, desde que supimos como generar energía calorífica hasta las inmensas construcciones

que nos permiten producir considerables cantidades de energía eléctrica. El físico francés Alexandre Edmond Becquerel con su aportación, el efecto Fotovoltaico, fue de gran utilidad para lo que vendría siendo una promesa en cuanto energía renovable se refiere, hablamos de la energía fotovoltaica.

El efecto Fotovoltaico consiste en que ciertos materiales expuestos a la luz solar generan un diferencial de potencial (voltaje).

Un lustro después el inventor Charles Fritts fue el precursor del primer prototipo de célula fotovoltaica, esta estaba conformada de Selenio como material semiconductor, además de recubrirlo con una capa extremadamente delgada de oro, el producto final fue una célula fotoeléctrica de 1% de eficiencia, a pesar de que el costo de elaboración fue elevado, el prototipo demostró la transformación de energía luminosa a eléctrica.

En 1914 el físico sueco Sven Anson Berglund patentó un procedimiento para aumentar la eficiencia de la célula fotovoltaica, lo cual, le dio bases al ingeniero alemán Bruno Lange para implementar dióxido de cobre en la célula en 1931, posteriormente Russel Ohl fue el creador de la célula moderna, su estudio de los diferentes tipos de cristales le valió para dar dicha aportación a la celda fotovoltaica, agregando que fue el benefactor de la unión P-N y del transistor, gracias a sus estudios en impurezas de los cristales y materiales semiconductores.

En 1955 esta tecnología se implementó en satélites artificiales. El satélite artificial Vanguard 1 fue una de las primeras tecnologías en portar un sistema fotovoltaico el cual alimentaba un transmisor de tan solo 5 mili watts.

Un hecho accidental por parte de investigadores estadounidenses fue la bienvenida a la energía fotovoltaica de manera comercial, Gerald Pearson, Calvin S. Fuller y Daryl Chapin, de los Laboratorios Bell, son los creadores de la primera célula fotovoltaica comercial. Diseñada con una unión difusa de silicio P-N, el rendimiento, en un principio fue de 6%, sin embargo, el

estadounidense Les Hoffman logro aumentar su eficiencia a 14%, siendo su empresa, Hoffman Electrónicos la primera en producción a gran escala de celdas fotovoltaicas. (Barrera, 2010)

## 1.8 Importancia de la generación fotovoltaica

La transformación de energía solar a energía eléctrica o térmica es una de las prácticas de recolección de energía limpia que puede ofrecer la ciencia, el método permite redireccionar el flujo de energía a máquinas o electrodomésticos, los cuales facilitan la ejecución de actividades en la rutina diaria, además son una gran alternativa para sectores que están aislados de una red convencional de electricidad, dichas aplicaciones son variadas dependiendo de la cantidad de energía que se puede obtener a través de los paneles, y de la energía que se puede entregar dependiendo del tipo de corriente a la cual se suministre, claro que también dependerá de condiciones geográficas, climáticas y de la eficiencia de los componentes.

### 1.8.1 Concepto de energía

La energía es la capacidad de ejercer un trabajo.

Se nos presenta de diversas formas, está presente en todos los aspectos de la vida, se puede presenciar en el momento de transición entre los cuerpos.

*Principio de conservación de la energía: la energía es una cantidad que se puede convertir de una forma a otra, pero no puede crearse ni destruirse.*

*(YOUNG, 2009)*

El sol es el encargado de proveer energía a gran parte del planeta, esta misma es componente imprescindible para el desarrollo de todo tipo de vida en la tierra.

La energía se puede catalogar en renovable y no renovable:

La energía renovable bajo circunstancias humanas es inagotable debido a que el entorno del planeta es óptimo para aportar distintos tipos de energía de forma cíclica.

La energía no renovable también se puede encontrar en el entorno explotando recursos naturales finitos (gas natural, carbón, petróleo), la diferencia es, que estos no se renuevan rápidamente en el planeta.

### 1.8.2 Beneficios de los paneles fotovoltaicos

La radiación solar puede ser canalizada para fines particulares, dado que puede ser captada en forma de temperatura y electricidad.

El principal beneficio que nos aporta el usar la energía solar es el de no contaminar la atmosfera con emisiones de gas, además de reducir considerablemente el uso de los recursos naturales disponibles del planeta.

Otra ventaja es que los dispositivos de energía fotovoltaica pueden estar aislados, de modo que da beneficio de tener luz eléctrica o térmica en zonas a las cuales no cuentan con una red convencional de electricidad, abriendo una brecha para la adquisición de servicios en zonas poco desarrolladas. (ROLDÁN VILORIA, 2008)

Los paneles fotovoltaicos pueden generar corriente directa (DC) en lugares aislados.

La energía producida por dicho dispositivo puede almacenarse en baterías o suministrarse a redes de baja tensión.

Las actividades agrícolas se beneficiarían con la implementación de sistemas de bombeo para los cultivos.

Los sistemas de refrigeración beneficiarían a los modestos sectores médicos en dichas zonas rurales puesto que estos sistemas facilitan la conservación de sustancias químicas.

## 1.9 Tecnología fotovoltaica

En esta sección se explicará de manera breve cómo funciona la estructura de los materiales de la celda fotovoltaica para transformar la radiación solar en energía eléctrica, también se explicará los arreglos y ensamble de las células que conforman un panel fotovoltaico.

El panel fotovoltaico es una conexión de células fotovoltaicas, las cuales dependiendo de su configuración proporcionarían mayor voltaje o corriente.

En la siguiente figura se representa la conformación de la célula fotovoltaica en la parte izquierda, mientras que en la derecha se observa cómo se conforma el panel.

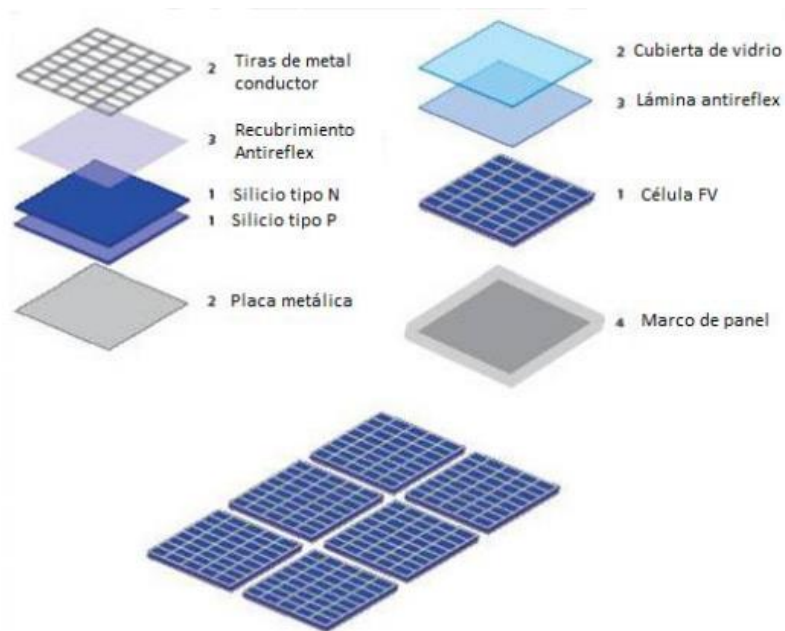


Figura 1. Partes que conforman una célula fotovoltaica y panel fotovoltaico. (MESSENGER, 2010)

### 1.9.1 Función de los materiales P-N

Los sistemas fotovoltaicos funcionan cuando la radiación luminosa interactúa con electrones de los materiales semiconductores, para ello contamos con materiales de tipo P y tipo N, estos son denominados de esa manera debido a sus cargas, por ejemplo un material tipo P está conformado con átomos de silicio y boro, el silicio cuenta con 4 electrones de valencia los cuales permitirán hacer enlaces estables, si es que se trata con un cristal de silicio puro, en cambio, si al cristal se le agregan átomos de boro el resultado del enlace generaría un hueco en la estructura dado a que el boro solo cuenta con 3 electrones de valencia, dicha vacancia es una carga positiva en el enlace. En el caso contrario, el material de tipo N estaría conformado por una carga extra en el enlace, en este caso el cristal de silicio se le añadirían átomos de fósforo el cual tiene 5 electrones de valencia, los enlaces en la estructura darán como resultado un electrón libre o denominado carga negativa. La unión P-N se crea uniendo los materiales de carga positiva y negativa.

Cuando se genera una unión P-N, los electrones de la región negativa estarán atraídos por las vacancias en el material con carga positiva, debido a esta acción se genera una región de agotamiento en donde no se encuentran electrones libres ni vacancias. En el límite del material N está cargado electrónicamente positivo mientras que el material P su límite está cargado ligeramente de forma negativa, este campo eléctrico será el encargado de generar el movimiento motriz entre las cargas. Cuando la energía luminosa del sol penetra el material N hasta incidir en la región de agotamiento, esto provocará que la región impulse las vacancias y los electrones fuera de la región de agotamiento, en el material P tendrá un exceso de vacancias mientras que en el material N un exceso de electrones, esto genera una diferencia de potencial, solo bastará conectar cualquier dispositivo entre los materiales semiconductores para que los electrones fluyan a través de la carga combinándose con las vacancias en la región P, de este modo la celda



suministra corriente directa. Cabe mencionar que la capa de material N está altamente dopada y es de un espesor reducido mientras que el material P no está dopado de la misma manera que el material N y el espesor de P es superior, esto permite que en la zona de agotamiento los pares de vacancias y electrones se generen abarcando una mayor área, también permite que la radiación solar impacte con mayor intensidad en la unión, como resultado la celda generará más corriente.

La siguiente figura representa el circuito que conlleva la transformación de la energía eléctrica.

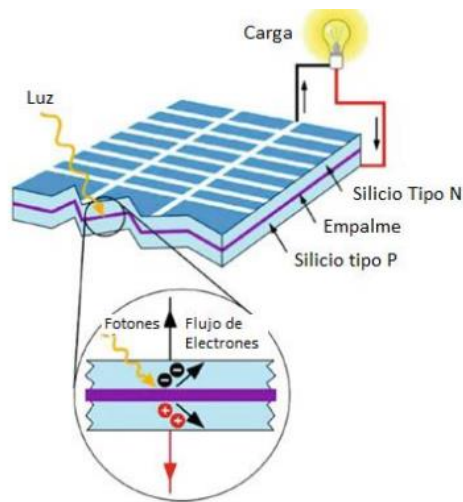


Figura 2. Esquema del circuito del flujo eléctrico en un panel fotovoltaico. (Papadopoulou, 2011)

En la siguiente tabla extraída de (Perdices, 2008) muestra el rendimiento de la célula y módulo de los materiales bajo condiciones de laboratorio e industriales.

Tabla 1. Materiales usados en los paneles fotovoltaicos con su rendimiento (Perdices, 2008).

Material	Rendimiento de la célula en laboratorio (%)	Rendimiento de célula industrial (%)	Rendimiento de módulo industrial (%)
Silicio monocristalino	24.7	18	14

Silicio policristalino	19.8	15	13
Silicio amorfo	13	10.5	7.5
Cristalino capa fina	19.2	9.5	7.9
CIS (capa fina)	18.8	14	10
CdTe (capa fina)	16.4	10	9
Célula híbrida	20.1	17.3	15.2
Silicio en banda	19.7	14	13

#### 1.9.1.1 Tipos de células fotovoltaicas

Los materiales que conforman una celda fotovoltaica varían y se emplearán de acuerdo a las exigencias del entorno, los costos de producción, y la fabricación que se empleen, aquí se explicarán los materiales utilizados para fabricar células solares.

**Silicio puro monocristalino:** Esta conformado por secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. Anteriormente se muestra su rendimiento que ronda en condiciones de laboratorio en 24.7%, mientras que en los comercializados es de 16%, este porcentaje varia un poco con la tabla anterior.

**Silicio puro policristalino:** Dicho material es similar, en comparación, su estructura de cristalización es diferente, dado que en este material esta desordenado en forma de pequeños cristales, esto quiere decir que a la vista tendrán un aspecto granulado. Su rendimiento es inferior que el monocristalino, siendo su rendimiento en laboratorio del 19.8% y el comercial es del 14%, estos valores se acercan a los valores de la tabla anterior.

Si se varia la estructura del silicio junto con la de otros materiales puede generarse paneles más finos y versátiles, lo cual permite adaptarlos a superficies irregulares, a estos se les denomina “paneles de lámina delgada”.

Dentro de los paneles de lámina delgada se encuentran:

**Silicio amorfo:** A diferencia con los anteriores paneles de silicio, este material no sigue ninguna estructura cristalina. Estos paneles se pueden encontrar en relojes, calculadoras y pequeños paneles portátiles. Su rendimiento en laboratorio es del 13% mientras que su rendimiento comercial es del 8%.

**Telurio cadmio:** Rendimiento en laboratorio del 16% y comercial del 8%.

**Arseniuro de Galio:** Su rendimiento es de 25.7% en laboratorio y comercial del 20%, lo cual lo hace uno de los materiales más eficientes.

**Deseleniuro de cobre en indio:** Con rendimiento de laboratorio del 17% y en comercial del 9%.

**Triple unión:** Galio (Ga), Arsénico (As) y Germanio (Ge) y Galio, Indio (In), Fosforo (P), estas tres uniones generan un rendimiento del 39%. (Ruiz Ortega, 2013)

En la siguiente figura se muestra las tecnologías fotovoltaicas más comunes

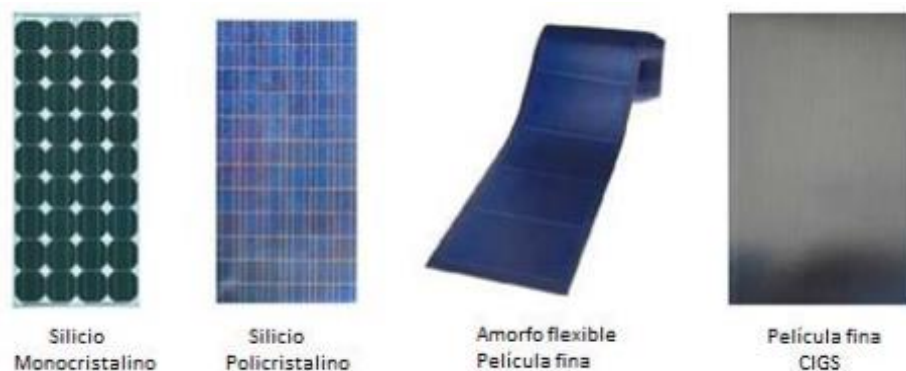


Figura 3. Tecnologías fotovoltaicas desarrolladas. (Valdiviezo Salas, 2014)

#### 1.9.1.2 Tipos de paneles de acuerdo a la forma

**Paneles de concentración:** Este tipo de paneles utilizan superficies reflectantes que concentran la luz sobre el panel. Este panel genera más electricidad dado a su concentración de fotones. El propósito de estos es aumentar la efectividad y bajar los costos.

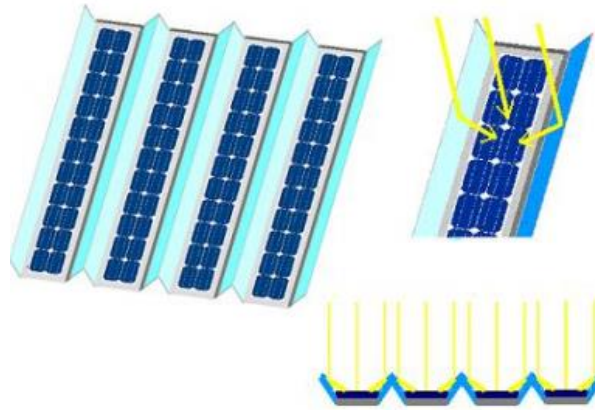


Figura 4. Sistema de concentración aplicado a un panel fotovoltaico. (Ruiz Ortega, 2013)

Paneles de formato teja o baldosa: Dichos paneles son pequeños y están pensados para combinarse en gran número para cubrir un amplio espacio superficial que ofrecen los tejados de las viviendas, además de cubrir grandes demandas energéticas.



Figura 5. Paneles en forma de tejado. (Ruiz Ortega, 2013)

Paneles bifaciales: Estos paneles son capaces de captar la luz solar tanto en la cara frontal del panel como la cara posterior, para ello se colocan dos superficies color blanco para reflejar la luz solar al revés. (Ruiz Ortega, 2013)

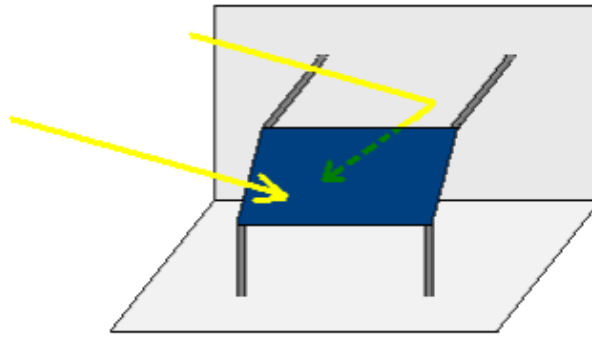


Figura 6. Panel bifacial. (Ruiz Ortega, 2013)

Factores que afecta la transformación de energía en los paneles fotovoltaicos:

**Cristalinidad:** indica el grado de orden en la estructura cristalina de los átomos de silicio. Puede ser monocristalino, policristalino y amorfo.

**Coeficiente de absorción:** indica como la luz puede penetrar antes de ser absorbido por un material. Esto depende del material y la longitud de onda de la luz.

**Costos y complejidad de fabricación:** número de pasos empleados, necesidades de ambiente especial, cantidad y tipo de material entre otros factores.

#### 1.9.2 Componentes de la instalación y tipos de instalaciones

Esta sección expone los elementos que conforman un sistema fotovoltaico, así como la funcionalidad de cada tipo de instalación.

##### 1.9.2.1 Elementos de instalación

Para emplear un sistema fotovoltaico es imprescindible contar con algunos elementos de instalación.

**Modulo fotovoltaico:** la función del dispositivo es captar la luz solar para transformarla en energía eléctrica, siendo las conexiones en seria la suma de los voltajes y las conexiones en paralelo la suma de las corrientes.

**Baterías:** este componente sirve para almacenar la carga recabada en diferentes lapsos de tiempo, puesto que este sistema está aislado de las fuentes convencionales de energía.

**Inversor:** modula la frecuencia de la corriente para suministrar la con las características adecuadas para las cargas.

**Regulador de carga:** el componente es el encargado de administrar la forma de carga y descarga de corriente de la batería, lo cual le permite modificar el suministro de corriente cuando la batería tenga su máxima capacidad de carga o cuando los niveles de carga sean inferiores en el momento de consumo.

**Elementos de protección del circuito:** los elementos protegerán el circuito de imprevistos como descarga o sobrecarga (diodos de bloqueo, interruptores, tierra, entre otros).

#### 1.9.2.2 Instalación aislada

Dicho tipo no requiere de una conexión convencional a una red eléctrica. Se puede distinguir dos tipos de sistemas de conexión: de acumulación y conexión directa.

Los sistemas de acumulación tienen una batería que suministra carga en momentos de nula o poca radiación solar. Estos a su vez pueden ser de consumo de corriente alterna o corriente continua.

En las asociaciones de los módulos eléctricos se pueden configurar de manera que se genere mayor voltaje o mayor corriente dependiendo del arreglo.

**Asociación en serie:** en este caso el voltaje tendera a aumentar el voltaje total de la instalación, si se superponen los módulos fotovoltaicos de manera que se conecte la terminal negativa del primer panel a la terminal positiva a la segunda placa, de manera sucesiva con las demás placas, dando como resultado que el valor de voltaje se multiplique por el número total de módulos en serie.

Asociación en paralelo: en contra posición con este arreglo el voltaje no es afectado, por lo contrario, en el arreglo en serie, la intensidad eléctrica no se ve modificado, ahora, en este arreglo las conexiones se hacen de manera que las placas se conecten con su signo semejante, positivo con positivo y negativo con negativo.

Asociación mixta: las dos maneras anteriores de asociar las conexiones eléctricas se combinan para equilibrar el voltaje y la intensidad.

Además de estos casos se pueden encontrar instalaciones mixtas, siendo de corriente continua y corriente alterna en un mismo sistema.

En las siguientes figuras se mostrarán tres tipos de conexiones de los sistemas fotovoltaicos, las imágenes provienen de (Valdiviezo Salas, 2014).

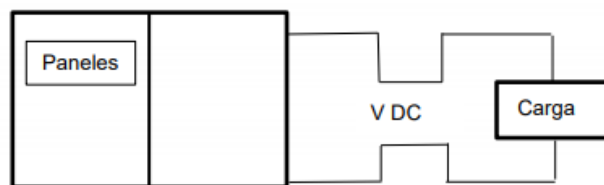


Figura 7. Sistema fotovoltaico conectado a una carga. (Valdiviezo Salas, 2014)

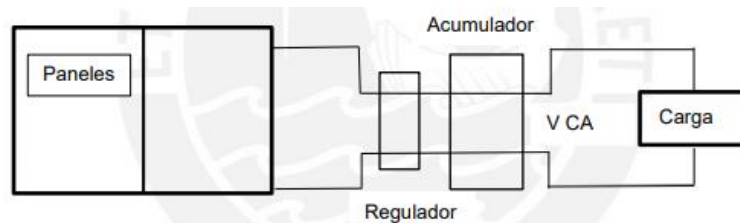


Figura 8. Sistema fotovoltaico con regulador y batería. (Valdiviezo Salas, 2014)

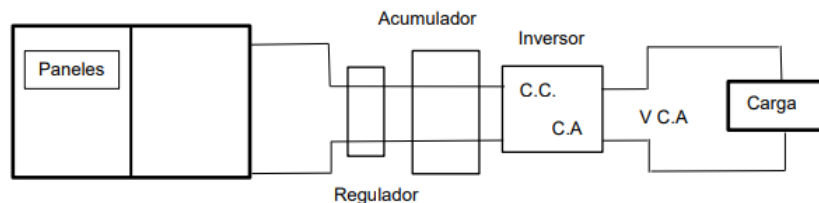


Figura 9. Sistema fotovoltaico conectado a un inversor de corriente. (Valdiviezo Salas, 2014)

### 1.9.2.3 Instalaciones conectadas a la red eléctrica

Son aquellas instalaciones que van conectadas directamente a la red general de distribución, esta instalación solo requiere de los módulos fotovoltaicos y el inversor, sin embargo, los inversores deben tener un sistema de la medida de entrega y consumo de energía, además de ser capaz de regular el suministro en función del estado de campo de los paneles, adaptar la corriente alterna a la fase de la energía de la red. (MESA, 2009)

## 1.10 La trayectoria de la irradiancia del sol

El sol es un astro luminoso formado por grandes acumulaciones de gas que en su interior se generan reacciones atómicas, las cuales, alteran la estructura interna de sus átomos, lo cual conlleva a desprender grandes cantidades de luz y calor. Dicha estrella es una enana de color amarillo, la temperatura interna es de 150,000,000 °C y la de la superficie es de 5,500 °C. En su interior se generan reacciones atómicas de hidrógeno, al generar una inmensa cantidad de energía se produce helio el cual haciende a la superficie, en donde se emite en forma de luz y calor. Dicha transferencia de energía recorre 150 millones de kilometros a través del espacio para impactar en la tierra. (El Universo, 2015)

### 1.10.1 Trayectoria de la tierra

La tierra está en constante movimiento de traslación alrededor del sol describiendo una elipse en la cual se destacan dos puntos importantes en dicha trayectoria, perihelio y afelio, los dos puntos se destacan por su ubicación en el espacio siendo el punto perihelio se describe cuando la tierra tiene una distancia menor entre ella y el sol, mientras que afelio es lo opuesto, tiene mayor distancia de separación. En párrafos anteriores se menciona que el eje tiene cierta inclinación con respecto a la eclíptica que interactúa con la tierra, en consecuencia, los hemisferio norte y sur reciben iluminación solar de acuerdo a la cercanía o lejanía entre el sol y la tierra, cuando la tierra se encuentra en el punto afelio el hemisferio norte recibirá menor iluminación,



mientras que en el hemisferio sur será lo opuesto, por lo contrario cuando la tierra se encuentre en el punto perihelio, la irradiancia recaerá en las zonas menor iluminadas en el punto afelio. (Ambrosio, 2016)

### 1.10.2 Esfera celeste

Por definición una esfera celeste es aquella representación imaginaria de radio unidad y el centro se encuentra en el observador y sobre lo que se proyectan todas las posiciones de los astros. Se pueden encontrar distintas situaciones para distinguir la localización del observador y el centro de la esfera, las cuales son:

**Esfera topo céntrica:** el caso consiste en que el observador se encuentra en la superficie de la tierra.

**Esfera geocéntrica:** es aquella en donde un observador imaginario se encuentra en el centro de la tierra.

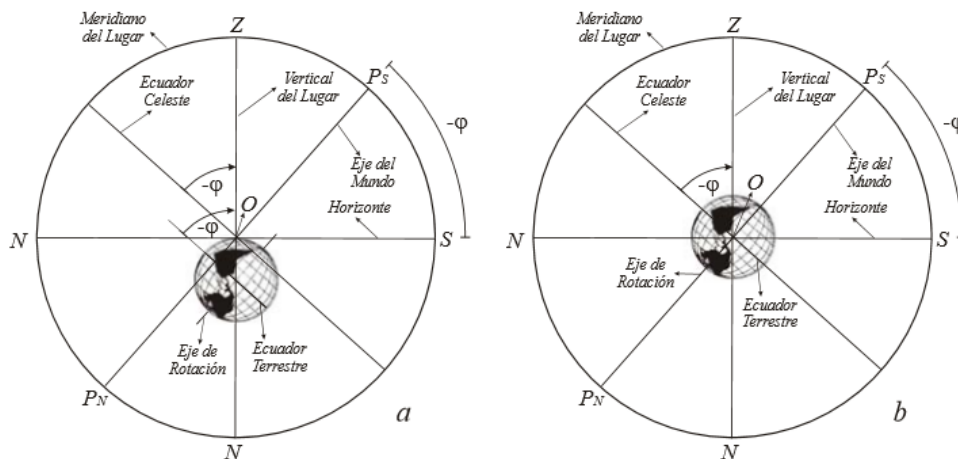


Figura 10. la primera representación muestra la esfera topo céntrica mientras que la segunda representa la esfera geocéntrica. (Baume, 2014)

**Esfera heliocéntrica:** dicho caso consiste en que un observador imaginario se encuentre en el centro del sol. (Baume, 2014)

La ubicación en donde se encuentre el mirador es un factor importante al momento de observar un cuerpo celeste.

### 1.11 Fotorreceptor, motor a pasos y servomotor

Al identificar la afirmación anterior es conveniente pensar en usar la luz solar no solo como fuente de energía eléctrica, también usarla para redireccionar los paneles fotovoltaicos, este método se puede recrear con dos componentes principales.

Fotorreceptor: este componente utiliza la luz que incide en su cuerpo fotorreceptor con el propósito de disminuir la resistencia en el circuito en cuestión, este fenómeno se debe a que su composición receptora está formada por sulfuro de cadmio un semi conductor de alta resistencia , su principio de funcionamiento está basado en el efecto fotovoltaico, sin embargo el cadmio es el material que genera este fascinante fenómeno en donde se requiere una alta frecuencia de luz para que el material pueda reducir su resistencia eléctrica, de lo contrario si se encuentra en una nula incidencia de luz la resistencia tendera en aumentar. (Nagybabi, s.f.)

Motor a pasos: este dispositivo es similar a los motores convencionales, con la diferencia que se puede controlar el ángulo de giro mediante señales eléctricas, la ventaja es la compatibilidad de los sistemas electrónicos digitales, dichas características son convenientes para modificar la rotación del rotor. Este elemento funciona debido a un campo magnético rotativo generado por un control electrónico, que pone en marcha un rotor magnético. Además, se diferencia en la forma de generar el campo magnético y por el material que conforma el rotor siendo imán permanente o hierro dulce. (Conti, 2013)

Servomotores: es un motor que permite controlar la posición de giro del eje y dependiendo del motor se tiene un rango de 0 a 180°, en el caso de un servomotor de media vuelta, mientras que si se tiene un servo de 360° daría libertad de posicionamiento de una vuelta completa.

La diferencia entre estos dos componentes es que el servomotor cuenta con un tren de engranes. Esta característica hace eficaz al servomotor para tareas de alta velocidad, aceleración y precisión.

## 1.12 Ejemplos de sistemas fotovoltaicos o prototipos puestos a prueba

En este apartado se registrarán algunos diseños descritos en trabajos de tesis, artículos u otra fuente, esto permitirá analizar los distintos tipos de estructuras y propuestas ya utilizadas, así como tomar en cuenta las características que lo vuelven eficaz, en torno a la estructura que lo sostiene y la facilidad que resulta colocar los componentes de los circuitos que actúan en el sistema.

### 1.12.1 Ejemplo 1

En el trabajo, “diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico”, desarrolló un prototipo de seguidor solar de un solo eje, por método de seguidor por iluminación, en el cual, recabó datos en los que demuestra que la eficiencia se ve beneficiada por la manera de captar la luz solar gracias al desplazamiento continuo en el transcurso del tiempo. Demuestra mediante graficas el comportamiento de la potencia de salida que recaba un sistema fotovoltaico estático y un sistema de seguimiento solar.

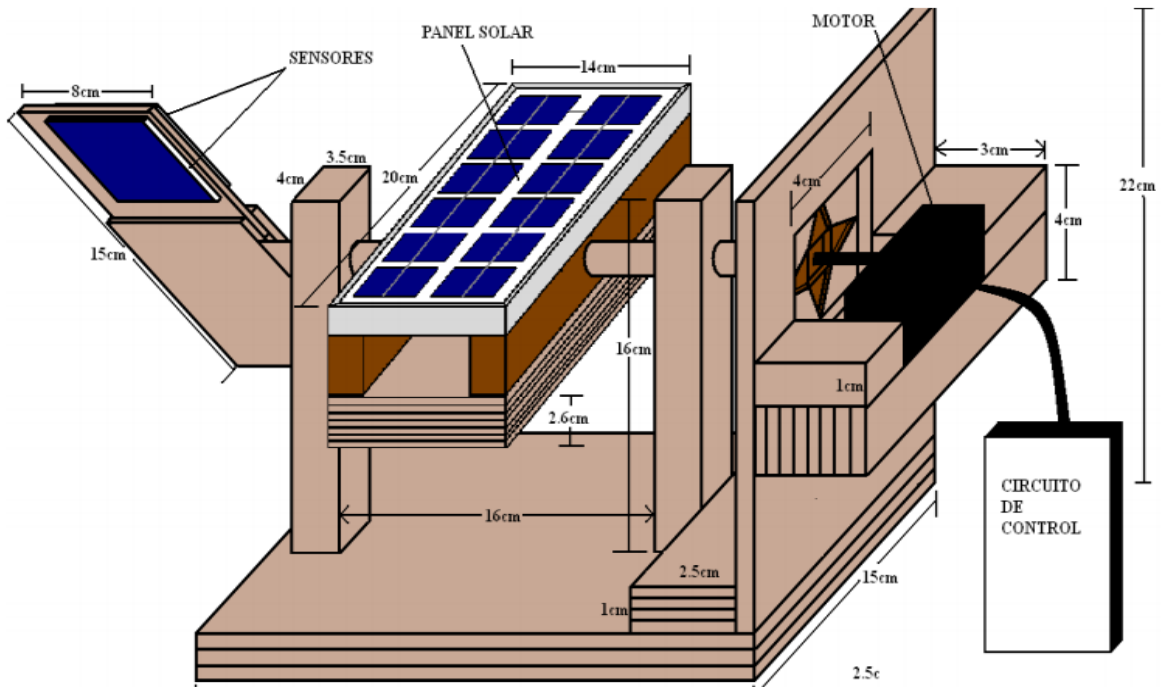
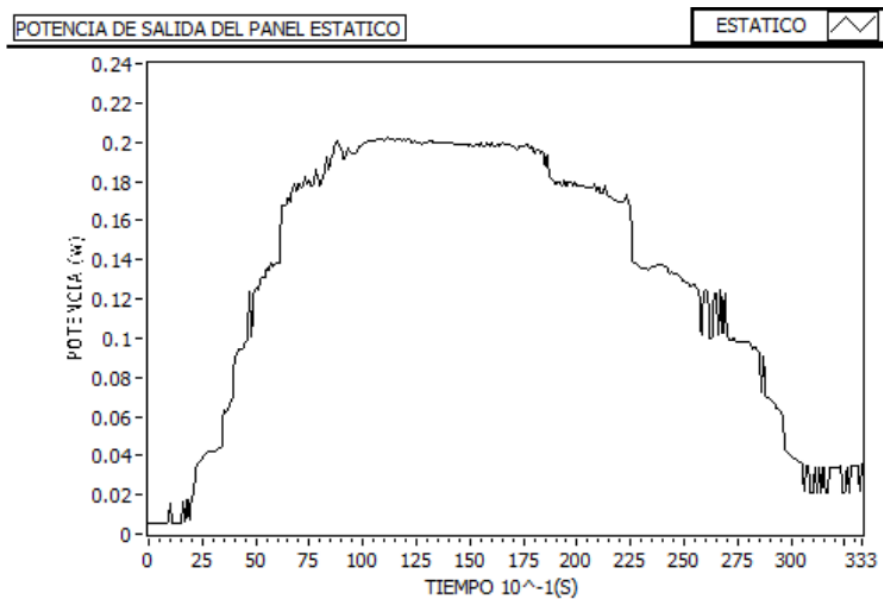


Figura 11. Esquema de un sistema de seguimiento fotovoltaico. (Mejia, 2010)

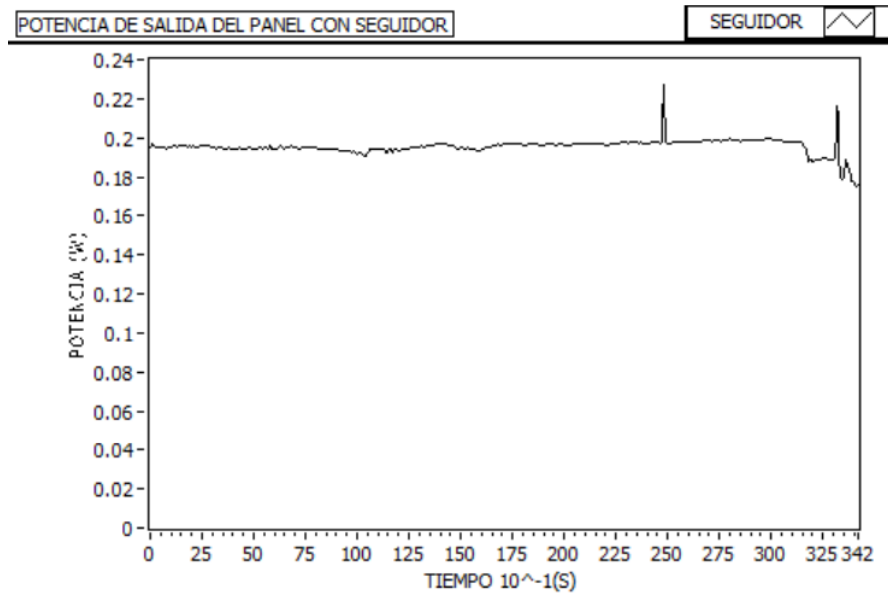
La anterior figura se muestra el esquema con mediciones las cuales representa el prototipo del modelo propuesto.

Tabla 2. Potencia de un sistema fotovoltaico en estado estático. (Mejia, 2010)



La tabla anterior representa el comportamiento de la potencia de un sistema fotovoltaico estático en donde el eje de las ordenadas se aprecia la potencia que el sistema brinda, mientras que en el eje de las abscisas representa el tiempo transcurrido.

Tabla 3. Potencia de un sistema fotovoltaico en estado dinámico. (Mejia, 2010)



Comparando con la tabla de datos de un sistema de seguimiento fotovoltaico se logra observar que la potencia de salida es aproximadamente constante en comparación con el sistema anterior. (Mejia, 2010)

### 1.12.2 Ejemplo 2

En el trabajo “Automatización de panel solar (Cardozo, 2014)”, presenta una alternativa el cual consiste en optimizar el rendimiento de los paneles mediante el diseño de un seguidor solar, este tiene el objetivo de seguir la trayectoria del sol por completo y posicionar los paneles fotovoltaicos de manera perpendicular a los rayos del sol, la acción será ejecutada por un programa de control, el cual es capaz de recibir señales de sensores, los cuales, envían impulsos eléctricos a una interfaz de control, para posteriormente convertir

dicho pulsos en desplazamiento angular en el motor, así mismo logrando ubicar con precisión el panel del prototipo.

Materiales utilizados para dicho proyecto constan en:

**Puerto paralelo:** este es ideal para el control de los motores, hablamos de un puerto de impresora tipo Centronics, el cual se destaca por su sencillez y velocidad al transmitir información, además de que se han evitado problemas en la captación de señales y se logró la facilidad de control y adquisición de datos.

**Lenguaje C:** en su elección de lenguaje optaron en el C dado a su facilidad sintáctica, el flujo, estructura y el conjunto de operados fue el más óptimo para su ejecutor, además de que el lenguaje es portable y se puede adecuar a cualquier máquina.

**Materiales:** los materiales que se emplearon en la ejecución son de segunda mano, por lo que el prototipo fue el resultado de materiales en des uso. Entre ellos se encuentran sobrantes de madera y partes de artefactos eléctricos.

**Estructura mecánica:** la estructura está caracterizada por brindarle al panel dos ejes de rotación mediante motores a pasos, los cuales, fueron extraídos de impresoras dañadas, en las posteriores imágenes veremos un arreglo de engranes los cuales brindan control al movimiento.



Figura 12. Tren de engranes impulsados por un motor. (Cardozo, 2014)



Figura 13. Sistema de seguimiento fotovoltaico con dos ejes. (Cardozo, 2014)

En la segunda figura se aprecie el mecanismo, en primera instancia la base está equipada por la interfaz de circuitos y un primer motor el cual brinda rotación describiendo una semi circunferencia de este a oeste coincidiendo como punto máximo ( $90^\circ$ ) con la dirección hacia el cenit. En la parte central se ubica un eje que conecta con los dos soportes de la base y que además sirve de soporte para el segundo motor, el cual le brinda un segundo eje en dirección norte-sur.

## Capítulo 2

2.1 Coordenadas geográficas y su relación con la radiación solar  
En este apartado se explica las partes en las que se conforma la superficie terrestre, esto con la finalidad de localizar la zona del territorio mexicano, además de identificar la manera en que la luz solar incide en la superficie territorial en el transcurso del año.

Se parte de una línea representativa por la cual atraviesa del Polo norte y el Polo sur de la tierra, esta línea se le denomina eje terrestre o de rotación, en base al eje esta interceptado perpendicularmente con un plano que dibuja el círculo fundamental en la esfera terrestre, a este se le llama ecuador, dicho plano divide de manera representativa al planeta tierra en dos hemisferios, hemisferio norte( hemisferio boreal) y hemisferio sur(hemisferio austral), a su vez de manera paralela al círculo fundamental(ecuador), los hemisferios se dividen en círculos paralelos también llamados; trópicos y círculos polares. En el hemisferio norte se encuentra el trópico de cáncer el cual se encuentra a  $23^{\circ}27'$  del ecuador, además también se encuentra el círculo polar ártico este se encuentra  $23^{\circ}27'$  del polo norte. En el hemisferio sur se encuentra el trópico de capricornio a  $23^{\circ}27'$  del ecuador y el círculo polar antártico a  $23^{\circ}27'$  del polo sur. Entre las divisiones de los círculos paralelos (círculos polares y trópicos), el círculo fundamental(ecuador) se encuentran las zonas tropicales, templadas y polares, el listado partiendo del hemisferio boreal sería el siguiente:

1. Zona tropical boreal: se encuentra entre el ecuador y el trópico de cáncer
2. Zona templada boreal: se encuentra entre el trópico de cáncer y el círculo polar ártico



3. Zona polar boreal: se encuentra entre el círculo polar ártico y el polo norte
4. Zona tropical austral: se encuentra entre el ecuador y el trópico de capricornio
5. Zona templada austral: se encuentra entre el trópico de capricornio y el círculo polar antártico
6. Zona polar austral: se encuentra entre el círculo polar antártico y el polo sur

Se registro en (Baume, 2014) que la interacción de la luz solar con los círculos paralelos (círculos polares y trópicos), el circulo fundamental (ecuador) y las zonas que se encuentran entre los círculos menores y mayores varíen en el transcurso del año.

Además, en (SEP, 2014) menciona que debido a la inclinación de la tierra y a su forma, la luz solar interactúa de diferentes maneras en el planeta en el trascurso del año, también describe que los rayos solares impactan verticalmente en el ecuador, cuando sucede los equinoccios, mientras que los rayos solares impactan verticalmente en los trópicos de Cáncer y Capricornio cuando suceden los solsticios en junio y diciembre.

En dichas referencias hablan de círculos secundarios el cual se le atribuye los nombres de meridianos y se toma como origen el meridiano de Greenwich o meridiano principal el cual se ubica en Londres, este, junto el meridiano posterior al mismo a  $180^\circ$  separan a los hemisferios oriental y occidental.

Para determinar coordenadas geográficas se utilizan los términos:

Longitud: distancia de la superficie terrestre en el cual se toma como punto de partida la intersección en el ecuador y el meridiano de Greenwich (meridiano principal), las unidades con las que se pueden representar son “grados, minutos y segundos”(°,’,”) o “horas, minutos y segundos”(h, m, s), la coordenada geográfica puede tomar valores desde  $-180^\circ$  a  $+180^\circ$  o  $-12h$  a  $12h$ ,

convencionalmente en vez de poner los grados u horas, negativos y positivos , se opta por anotar la longitud de manera positiva y señalando la orientación del hemisferio occidental(Oeste) u oriental(Este), siendo entonces  $-165^\circ$  lo mismo que si se anotara  $165^\circ\text{O}$ (Oeste, West) y  $+165^\circ$  lo mismo que  $165^\circ\text{E}$ (Este, East), del mismo modo  $-11\text{h}$  se representa como  $11\text{h O}$  y  $+11\text{h}$  como  $11\text{hE}$ .

Latitud: es la distancia de la superficie terrestre que se mide del ecuador hacia los polos. Se mide en “grados, minutos y segundos” ( $^\circ, ', ''$ ) respecto al ecuador, su valor va de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ . De manera análoga se opera la notación, solo que el límite en esta medida es  $90^\circ$  y no se usa la notación de horas, por ejemplo, la latitud de la ciudad de México esta alrededor de  $+19^\circ36'$  o bien  $19^\circ36'\text{N}$  (Norte) mientras que si fuera  $-19^\circ36'$  seria  $19^\circ36'\text{S}$ (Sur) la cual estaría localizado en alguna parte del océano pacifico por debajo del trópico de capricornio.

Altitud: es la distancia medida en metros, de cualquier punto de la superficie terrestre con respecto al nivel del mar medio.

## 2.2 Zona en el que se instala el Sistema de seguimiento solar de baja potencia

Se debe tomar en cuenta las circunstancias en las que se debe instalar el sistema fotovoltaico, dado que su eficiencia radica en cuanta energía puede transformar en relación con la ubicación de la zona, para ello se recaban datos documentales sobre la radiación que impacta en la superficie terrestre.

Retomando datos básicos de (SEP, 2014), la variación de temperatura es evidente en zonas ecuatoriales y polares, este hecho es a consecuencia de factores como la forma de la tierra, la inclinación del eje de rotación, el movimiento de traslación y dado a que reciben distintas cantidades de radiación solar, por lo cual, a mayor radiación solar la temperatura asciende,

otro factor importante es la altitud, debido a que a mayor altitud la temperatura desciende.

Se tiene registrado que las zonas cálidas comprenden el área entre el trópico de cáncer y el trópico de capricornio, la localización del territorio mexicano recibe la radiación solar de forma casi vertical, a su vez provoca altas temperaturas, esto se debe a su posición geográfica (Norte:  $32^{\circ} 43' 06''$  latitud norte, Sur:  $14^{\circ} 32' 27''$  latitud norte), los valores de los extremos de la latitud indican claramente que el territorio mexicano está dentro de la zona cálida.

En (Rosa Maria Rodríguez Jiménez, 2004) menciona que debido a la atmosfera (capa gaseosa que envuelve a la tierra) del planeta presenta un desarrollo óptimo de vida, de no ser así el planeta tendría una temperatura por debajo de los  $-15^{\circ}\text{C}$ , además de protegernos contra las radiaciones ultra violeta e infrarroja. Dentro de la atmósfera se generan cambios notables de los cuáles depende la temperatura, presión atmosférica, viento, humedad, precipitación y radiación solar, dichas variables son origen de los distintos tipos de climas en el planeta, además de que condicionarán la efectividad de la tecnología fotovoltaica. Hablemos de la variable de la radiación solar, esta es definida como energía radiante o radiación, esta energía es una onda la cual se puede reconocer en el espectro electromagnético y dependiendo de la energía que contengan dichas ondas se manifestaran de distintas maneras, siendo las ondas más energéticas las ondas ultra violeta, de manera descendente le siguen las ondas de espectro visible (colores) y las ondas menos energéticas van de la onda infrarroja, microondas, TV y radio.

Al momento que los rayos solares traspasan la atmósfera casi transparente, estos son absorbidos por los cuerpos, principalmente la superficie terrestre y posteriormente reflejados hacia el espacio. Los porcentajes que se manejan para la distribución de la radiación atmosférica son: 51% de la radiación es absorbido por la superficie terrestre, 19% por las nubes y los componentes de la atmósfera, y el 30% es reflejada de vuelta al espacio.

En (Vázquez Mola, 2016) representa de manera esquemática como los factores climáticos influyen en la captación de energía solar dando introducción a los distintos tipos de radiación:



Figura 14. Diagrama de los tipos de radiación. (Vázquez Mola, 2016)

Radiación directa: es aquella que logra traspasar de manera casi intacta sin que algún cuerpo interfiera en el trayecto de la radiación hacia un objeto en particular.

Radiación difusa: es aquella que fue absorbida en primera instancia por un cuerpo, sin embargo, logra llegar a la superficie de un cuerpo en particular, pero con menor intensidad.

Radiación reflejada: esta, es recibida en un cuerpo, y dependerá del cuerpo en cuestión para que dicha radiación sea reflejada (albedo) al objeto en particular. Figura comparativa del albedo entre la nieve y la arena de (Rosa Maria Rodríguez Jiménez, 2004).

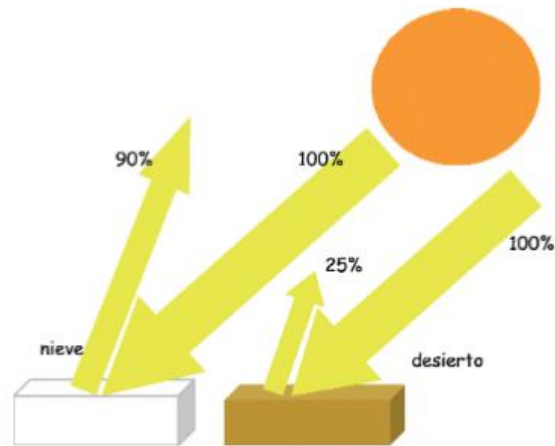


Figura 15. Representación del albedo en la nieve y arena. (Rosa Maria Rodríguez Jiménez, 2004)

Se interpreta entonces que la suma de las radiaciones es igual a la radiación global total.

El piranómetro es un instrumento que mide la cantidad de radiación solar concentrada en un punto. Este aparato consiste de un sensor encerrado en una cúpula o domo transparente, dicho sensor transmite la radiación de longitud de onda inferior a  $3 \times 10^{-6}$  metros o 3 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). El sensor porta un disco con segmentos blancos y negros alternados, la diferencia de temperatura en los segmentos se calibra en función del flujo de radiación, siendo sus unidades Watts sobre metro cuadrado ( $\frac{W}{m^2}$ ), esta unidad expresa la unidad de potencia en un área.

El heliógrafo es un instrumento que estima la radiación solar por medio del número de horas de sol. El instrumento está equipado con una esfera de vidrio, orientada al sur geográfico, la esfera tiene el propósito de concentrar la luz solar en un punto incandescente, incendiando una cinta de papel especial donde tiene graduadas las horas del día.

## 2.3 Principios de mecánica

Es una de las ramas de la ciencia más antiguas, en la cual percibe la manifestación de fuerzas en un cuerpo, como se desarrolla en el tiempo y con lo que le rodea.

*Mecánica es la rama del análisis científico que se ocupa de los movimientos, el tiempo y las fuerzas, y se divide en dos partes, estática y dinámica. (Joseph Edward Shigley, 2001).*

Estática es una rama de la mecánica encargada de analizar cuerpos en reposo relativo o en estado estacionario.

Dinámica es la rama de la mecánica que se encarga de analizar aquellos cuerpos que se desplazan aceleradamente. A su vez la dinámica se divide en cinemática y cinética.

Cinemática es aquella que solo se encarga de analizar la posición, desplazamiento, rapidez, rotación, velocidad y aceleración de un cuerpo rígido.

Cinética es aquella que se encarga de analizar las fuerzas que producen el movimiento.

### 2.3.1 Teoría de diseño de máquinas y mecanismos

Dichas definiciones encaminan a términos los cuales tenemos contacto directo en la actualidad y que de cierta manera no lo percibimos en primera instancia, hablamos de los términos “estructura, mecanismo y máquina” la primera está a plena vista en edificios, torres y elementos rígidos que soportan bajas o elevadas cargas sin presentar desplazamiento interno entre sus elementos, la segunda están de manera interna, son aquellos elementos rígidos que efectúan cambios minuciosamente determinados para realizar una tarea en posiciones específicas, como las piezas internas de un reloj antiguo o los resortes y pistones de un motor. La tercera son en si los dispositivos que redirigen el movimiento y que están conformados por diversos mecanismos, como lo son los automóviles, grúas, taladros y aviones por citar algunos ejemplos.

Eslabón son aquellos elementos interconectados los cuales unen dos o más elementos, estas articulaciones suelen llamarse pares cinemáticos, los eslabones notables son el impulsor y el seguidor. El impulsor se encarga de recibir la manifestación de una magnitud física y transmitirla al seguidor, un ejemplo simple sería un molino de agua, la rueda que está en contacto con el fluido es el impulsor en cuestión, mientras que si se colocara una serie de ruedas dentadas (engranes) funcionan como seguidor o eslabón de salida. (Avello, 2014)

## 2.4 Principios de mecánica de materiales.

Tomar en cuenta el comportamiento de los materiales que soportarán el sistema es útil para mejorar el diseño y para anticipar futuras fallas, es por eso, que se deben tomar en consideración los conceptos que influyen en un material.

Cuando un cuerpo experimenta fuerzas aplicadas de una manera externa, el material del elemento ejercerá *esfuerzos*, estos son la resistencia interna de un material entre unidad de área, este concepto se lleva a escalas mínimas para describir la intensidad de la fuerza aplicado a un plano que pasa a través de un punto.

El esfuerzo normal (denotado por la letra griega sigma “ $\sigma$ ”) es la intensidad de una fuerza que se encuentra perpendicularmente en un plano del material. Dentro de estos esfuerzos se denotan los esfuerzos de tensión y compresión, en donde los esfuerzos normales que tiran (jalan) de los planos son de tensión, en cambio, si la orientación es contraria en dirección sobre los planos, estos se conocen como esfuerzos de compresión. Si se toma el plano xy como plano de la fuerza, la ecuación de esfuerzo normal se denotaría de la siguiente manera.

$$\sigma_z = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_z}{\Delta A}$$

Los esfuerzos cortantes (se denotan por la letra tau “ $\tau$ ”) actúan tangencialmente en el plano. Las ecuaciones que representan las dos componentes restantes de los esfuerzos normales se representan de la siguiente manera.

$$\tau_{zx} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_x}{\Delta A}$$

$$\tau_{zy} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_y}{\Delta A}$$

Los esfuerzos están representados sobre el plano como se muestra en la siguiente figura.

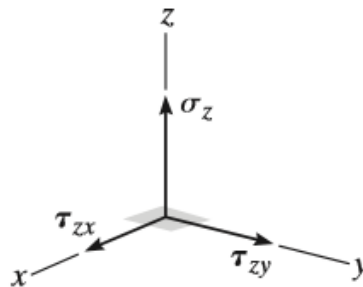


Figura 16. Representación del esfuerzo normal y esfuerzos cortantes en un plano. (Hibbeler, 2011)

El estado de esfuerzos es representado por una sección acotada en forma de cubo del material, en la cual se muestran los tres esfuerzos normales en cada cara del cubo, esto sirve para analizar un punto específico del material.

La siguiente figura muestra el estado de esfuerzos de manera representativa sobre los ejes coordenados.



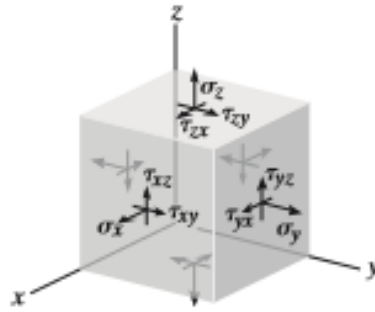


Figura 17. Estado de esfuerzos que actúa alrededor de un punto en el cuerpo de un material. (Hibbeler, 2011)

Esfuerzo normal promedio se define como la suma de las fuerzas que actúan sobre secciones en pequeñas áreas, además de tomar en cuenta que la deformación del material es uniforme. Por lo consiguiente los esfuerzos normales de cada sección del material serán constantes.

La representación en una ecuación sería la siguiente:

$$\int dF = \int_A \sigma dA$$

Al resolver la integral en ambos lados la diferencial de fuerza resulta en la fuerza interna resultante “P”, dado que los esfuerzos son constantes “σ”, la diferencial de área es la suma total de todas las áreas “A”. Por lo cual la representación queda del siguiente modo:

$$P = \sigma A$$

Al despejar el valor de esfuerzo normal promedio, da como resultado la fuerza interna normal resultante sobre el área de la sección de cualquier material homogéneo e isotrópico.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

La deformación ocurre cuando se le aplica alguna magnitud a un cuerpo, provocando que se transforme su forma y tamaño. Algunos ejemplos visibles son: una liga, la cuál es un cuerpo que, si se le imprime fuerza, se estirara,

también se puede observar cuando se aplica temperatura, si se incrementa la temperatura el cuerpo se expande, de lo contrario, se reduce y se contrae. Asimismo es importante tomar en cuenta que la deformación no es uniforme en todo el volumen y se consideran segmentos de línea muy cortos ubicados en la cercanía de un punto para estudiar los cambios por deformación, además la orientación de los segmentos influye en el momento que el cuerpo se deforma, esto se hace con la finalidad de medir la longitud que la magnitud logro modificar en el cuerpo, no solo se modifica de manera lineal sino que también puede influir la dirección de manera angular.

## 2.5 Principios de mecatrónica

Este apartado tiene el propósito de introducir los conceptos básicos de la mecatrónica para dar continuidad al desarrollo del sistema de seguimiento fotovoltaico.

La mecatrónica es una palabra compuesta por dos palabras: mecánica y electrónica. Esta palabra se le atribuye a un ingeniero Japonés, dado que engloba en este término a la ingeniería eléctrica, de control, electrónica y mecánica. Esto ha beneficiado el avance de tecnologías que conocemos hoy en día gracias a su flexibilidad, rediseño, programación de control y recopilación de datos.

En la mecatrónica se involucran sistemas de medición, sistemas de control y microprocesadores. Por lo que se define cada componente que conforman la tecnología:

Sistemas de medición: estos sistemas están conformados por sensores, acondicionador de señales y un sistema visual. El sensor es encargado de transformar una magnitud externa a una señal (Fem: fuerza electromotriz) o dato relacionado con la cantidad de entrada. El acondicionador de señales es encargado de tomar la señal de sensor y modificarla. El amplificador incrementa el tamaño de señal para adecuarlo a una forma visual o sistema

de control. Sistema visualizador recibe la señal del acondicionador y lo refleja en una escala, equivalente a la magnitud de entrada del sensor.

La siguiente figura muestra un esquema representativo de un sistema de medición. La primera fila (línea horizontal) son los componentes del sistema y su función en cada componente, mientras que en la segunda fila es lo mismo, pero, aplicado a un termómetro digital.

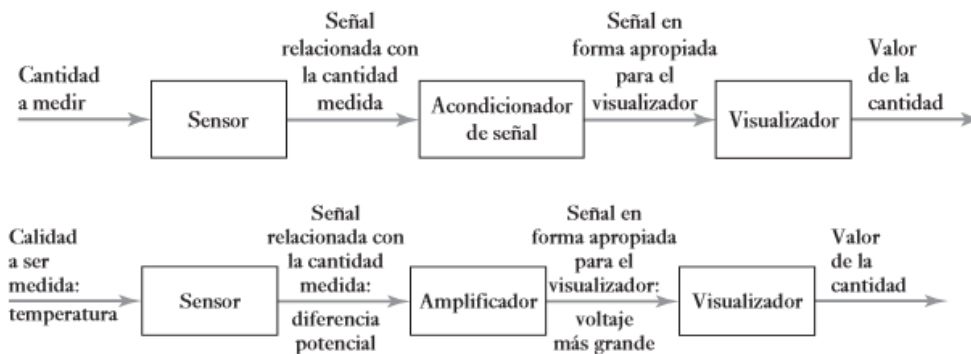


Figura 18. Descripción de un sistema de medición. (Bolton, 2017)

Sistemas de control: estos sistemas nos permiten mantener las variables dentro de un rango óptimo, permite regular las magnitudes físicas que se presentan en el sistema, ejecutar acciones en orden específicos y verificar si sucede un evento o no sucede. Dentro de los sistemas de control se pueden encontrar los sistemas de lazo abierto y cerrado, la diferencia entre ellos es que los sistemas de lazo abierto no modificaran el valor de entrada, puesto que no se tiene una retroalimentación y valores con los cuales compararse. En cambio, los sistemas de lazo cerrado tienen en cuenta valores de salida y con los cuales se comparan para regular el valor de entrada.

Microprocesador: son compuertas lógicas y elementos de memoria, cuyas funciones lógicas se implementan mediante software. Las compuertas lógicas son salidas de datos que comprueban si están encendidas o apagadas, también se pueden imaginar como válvulas de agua en donde el caudal es la información y el hecho de cerrar o abrir la válvula es la compuerta lógica, pero

implementada en flujo de señales o información. Los microcontroladores son microprocesadores con chips adicionales de memoria, puertos de entrada/salida, esto con la finalidad de comunicar la información que entra y sale de manera procesada. Los sistemas integrados están conformados por sistemas de microprocesadores, con el fin de controlar una gama de funciones, pero no puede ser modificado, esto quiere decir que el componente solo desarrollara una tarea específica.

Partes que conforman un sistema de microprocesadores:

1. Unidad central de procesamiento (CPU) es la parte encargada de reconocer y ejecutar las acciones de un programa.
2. Interfaces de entrada y salida es la parte encargada de comunicar la computadora con el exterior, la palabra puerto se refiere a la interfaz y la memoria es donde se almacenan datos e instrucciones de un programa.

Arduino es una tarjeta microcontroladora, la cual está conformada por puertos de entrada/salida, sistema de memoria, contador/cronometro, modulación de ancho de pulso, convertidor de señales analógicas a digitales (ADC) y un sistema de interrupción y comunicación en serie.

Un programa son las instrucciones que ejecutara un microprocesador, es una receta de la tarea que se desea automatizar, por lo tanto, primero define la tarea. El algoritmo es la secuencia de pasos que define el método de solución. El diagrama de flujo es un esquema del algoritmo y representa el flujo del programa mediante figuras que tienen significados específicos. Posteriormente se transcribe el algoritmo o diagrama de flujo en un lenguaje que el microprocesador pueda entender, este puede ser lenguaje ensamblador o lenguaje C. Al final se realizan pruebas que nos permiten corroborar que carece de fallas, de no ser así se tienen que corregir los errores del programa (Bugs). (Bolton, 2017)

### 2.5.1 Función del sensor y el fotorresistor

El funcionamiento del prototipo dependerá de la cantidad de datos y condiciones que lo rodean, en dado caso, el sensor(transductor) es el elemento que transmite una señal relacionada con la cantidad medida, podría decirse que es un canal de comunicación entre la magnitud física y la máquina o se entiende que el sensor traduce la información para la máquina y el usuario. Su función es transformar una magnitud física a un cambio en la resistencia (oposición de un material al flujo de corriente). Los sensores tienen características estáticas y dinámicas. Las características estáticas son aquellos valores recibidos que se mantienen constantes durante el tiempo, mientras que las características dinámicas son aquellos valores que al entrar varían, hasta conseguir ser estables.

Fotorresistor: este sensor es una resistencia que varía su valor de oposición a la corriente eléctrica a causa de la intensidad luminosa que recibe. Dependiendo de la composición del fotorresistor será capaz de detectar distintos rangos de longitud de ondas, siendo el más sensible el compuesto por sulfuro de cadmio.

### 2.5.2 Acondicionamiento de señales por modulación por pulsos

El acondicionamiento de las señales es un proceso por el cual la señal tienen que modificarse para una eficaz lectura. Esto permitirá que, en las siguientes etapas, el procesar la información se obtenga mayor precisión y sin daños en los componentes al tratar de medir cualquier magnitud. Este proceso amplifica o transforma la señal de salida del sensor.

Estos son algunos procesos que se pueden presentar a la hora de acondicionar una señal:

1. *Protección*, en estos procesos hay elementos que impiden daños en componentes que no soporten altos niveles de voltaje o corriente. Estos son resistores, fusibles, circuitos de protección por polaridad y limitadores de voltaje.

2. *Conversión del tipo de señal* es el proceso en el cual la señal se transforma a un voltaje o una corriente, otro caso sería adecuar la señal a digital o analógica.
3. *Nivelar la señal*. Es obtener una señal con un valor de voltaje mayor al que inicialmente se ingresó.
4. *Eliminación de ruido*. El proceso consiste en eliminar bandas de frecuencia de una señal. A esto se le conoce como filtrado, lo que quiere decir que selecciona las frecuencias que se desea transmitir.
5. *Manipulación de señales*. Este proceso es para convertir funciones no lineales a funciones lineales de una variable.

Al amplificar una señal de bajo nivel se experimenta un cambio en la salida(deriva). Para enmendar el problema, la señal será una secuencia de pulsos en lugar de una señal continua en el tiempo.

En la modulación por ancho de pulsos (PWM) este sistema se usa para controlar el valor promedio de un voltaje de corriente directa, el valor promedio de voltaje puede modificarse. Este valor promedio de voltaje se incrementa y se reduce en el transcurso del tiempo, debido a esto se reconoce el término ciclo de trabajo, esto representa la acción de incremento del voltaje, y un ciclo está conformado por el tiempo de actividad e inactividad del voltaje.

En la siguiente figura de (Bolton, 2017) se muestra un PWM para control de voltaje.

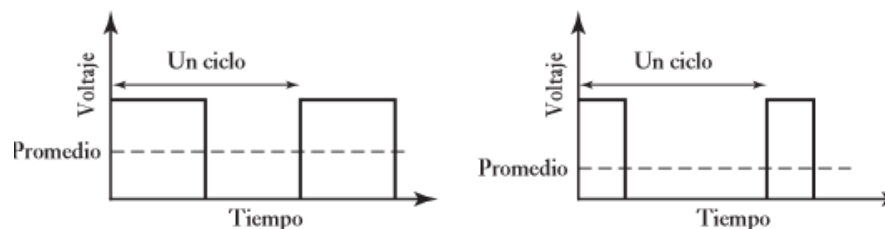


Figura 19. Ciclo de trabajo de un PWM. (Bolton, 2017)

### 2.5.3 Conceptos de programación

La programación es una parte importante para poner en marcha las funciones de una máquina, de tal modo el software representa las instrucciones que debe seguir un microprocesador o microcontrolador; por lo tanto, las instrucciones que reconoce un microprocesador se denomina conjunto de instrucciones y su forma dependerá del microprocesador. Mientras que las instrucciones que deben realizar una tarea dada se le llama programa.

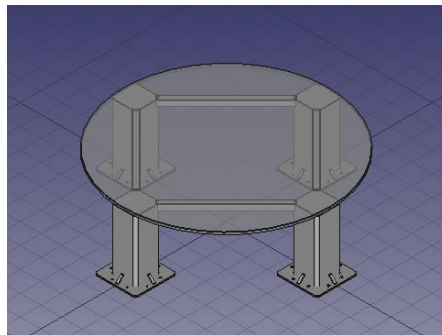
El código de maquina son las instrucciones escritas en código binario, dado a su complejidad se desarrolló el código taquigráfico (código mnemónico, lenguaje ensamblador), redactar de este modo ayuda a simplificar, auxilia a memorizar y es menos probable cometer errores en comparación al código máquina. Sin embargo, el mnemónico debe traducirse a lenguaje máquina para que el microprocesador lo pueda ejecutar. Esto se puede lograr a mano, traduciendo desde la hoja de fabrica del microprocesador o usando programas de cómputo que traduce el código (compilador para lenguaje ensamblador). Algunos de los lenguajes ensamblador son: BASIC, C, FORTRAN y PASCAL. (Bolton, 2017)

## Capítulo 3

### 3.1 Estructura del sistema fotovoltaico

La estructura está definida por elementos interconectados, los cuales tienen nula cantidad de movimiento, esto quiere decir que tendrá restricciones en cuanto a desplazamientos, mientras que, matemáticamente quiere decir que tendrá cero grados de libertad. Para la parte de la base se utilizarán los fundamentos de la estática, el cual es el estudio de los cuerpos en reposo, principalmente se mostrará el diseño de la base la cual contendrá al sistema fotovoltaico.

La figura siguiente muestra el diseño de la estructura del seguidor fotovoltaico elaborado en FreeCAD.



*Figura 20. Estructura base.*

La figura consta de cuatro pilares, los cuales están anclados al suelo, a su vez están conectados para sostener un cilindro que es la base que soporta el peso del sistema. Para prevenir a los circuitos de inclemencias se optó por hacer una cúpula la cual tendrá un cuarto de esfera estática, mientras que la contraparte será dinámica en un grado de libertad, también conocido como revoluto, esto con el motivo de acceder a los elementos en futuros mantenimientos.



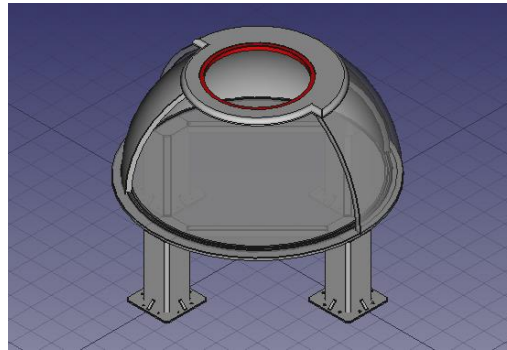


Figura 21. Capula móvil de la estructura a 90°.

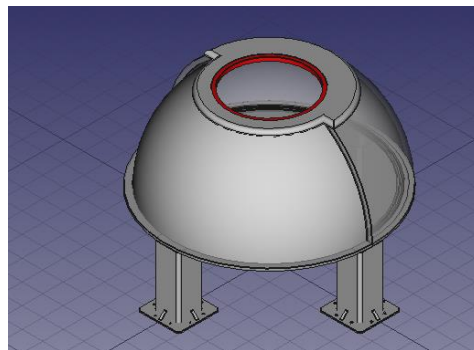


Figura 22. Capula ubicada en 0°.

Para transmitir momento se conectan dos revolutas, la cual, la primera es sostenida por una segunda base, mientras que la segunda revoluta esta sostenida por la media esfera, mientras que en la parte superior de esta se desplazara de manera horizontal los soportes del eje que sostendrán la base del panel.

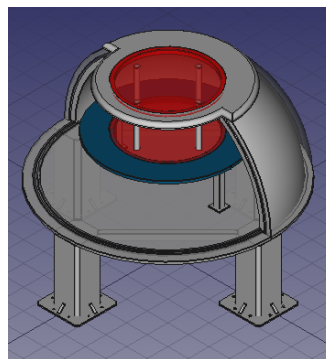
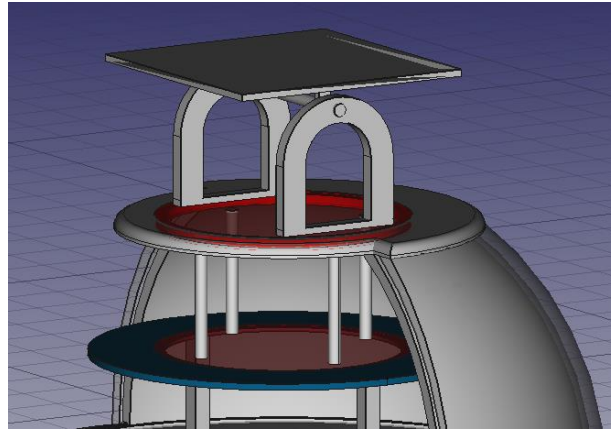
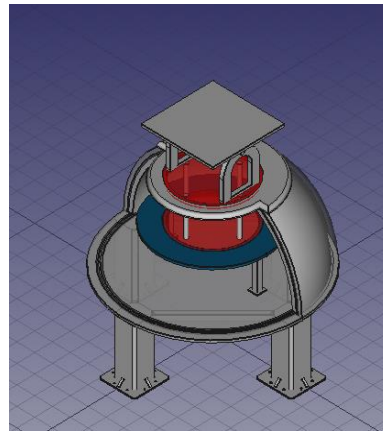


Figura 23. Revolutas interconectadas para transmitir giro de manera horizontal.

En la parte superior se dispone dos bases que sostendrán un eje el cual permitirá trasladar el panel, pasando por su punto máximo el cual apuntaría hacia el zenit.



*Figura 24. Ejes soportados por dos arcos los cuales restringen y permiten que el panel gire de manera vertical.*

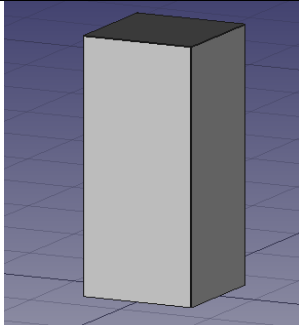
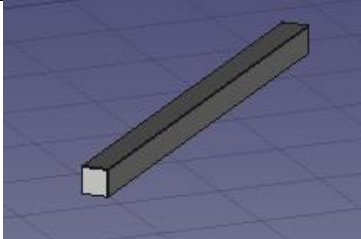


*Figura 25. Estructura total.*

### 3.1.1 Medidas de los elementos que conforman la estructura

En este apartado se muestran las medidas de los prismas que se modelaron en el programa freecad, estos componentes se encuentran en la estructura como columnas y vigas.

Tabla 4. Medidas de prismas rectangulares.

Componente	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
Columnas	12	12	30
 <p>Figura 26. Columna en su forma básica.</p>			
Vigas	2.54	48.1	2.54
 <p>Figura 27. Viga en su forma base.</p>			
Columnas secundarias	2.54	2.54	18.7

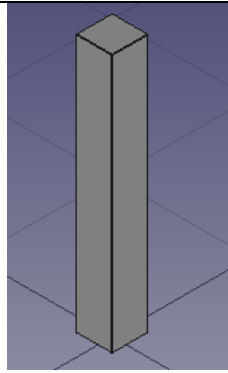
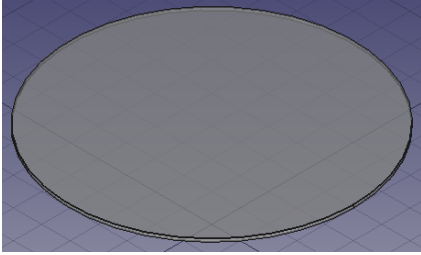


Figura 28. Columna de la segunda base.

Columna del eje	4	3	4
<p>Figura 29. Columnas conectadas a la base que soportara al panel solar.</p>			
Placa de soporte del panel	40	40	1
<p>Figura 30. Eje conectado a la base que soportara al panel solar.</p>			

En la siguiente tabla se representan las figuras cilíndricas que conforman la base, revolutas, conexiones y ejes, en algunos elementos se anexaron los planos para las adecuaciones de los componentes.

Tabla 5. Cilindros de la estructura.

Componente	Radio (cm)	Alto (cm)
Base	50	2
 <p>Figura 31. Placa circular en su forma base.</p>		
Segunda base con vacancia para revoluta	30	1

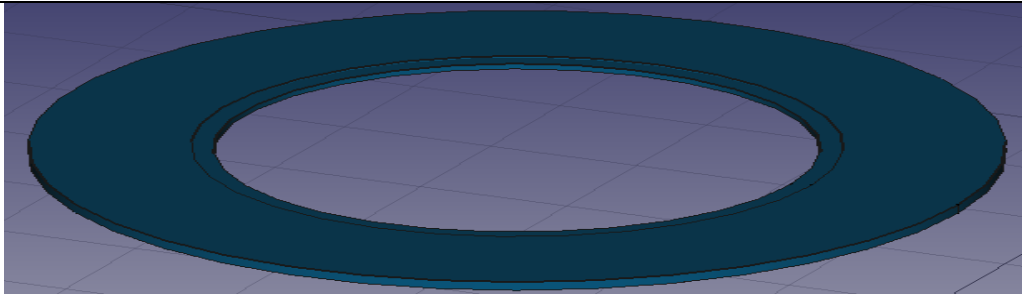


Figura 32. Segunda base con vacancia para revoluta generada a partir del plano con la herramienta de revolución de freecad.

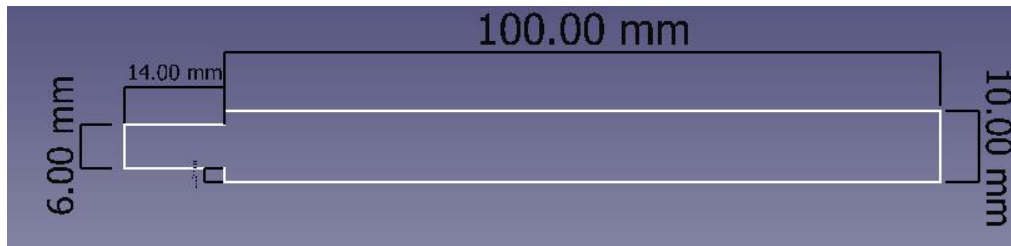


Figura 33. Plano total de la segunda base.

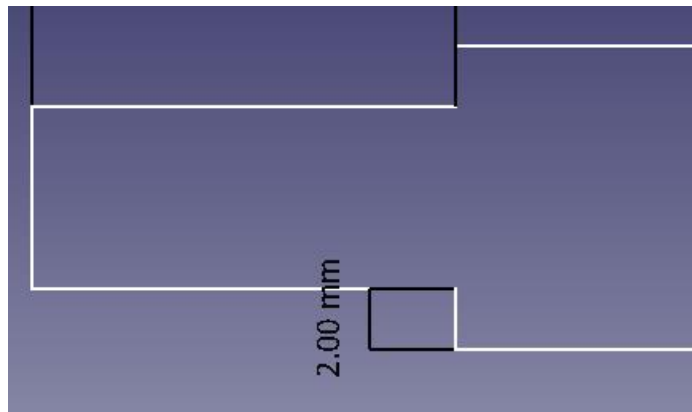


Figura 34. Plano parcial de la segunda base, donde en vez de tener un hueco como en la revoluta esta tiene una parte sobresaliente.

Revoluta	20	1
----------	----	---

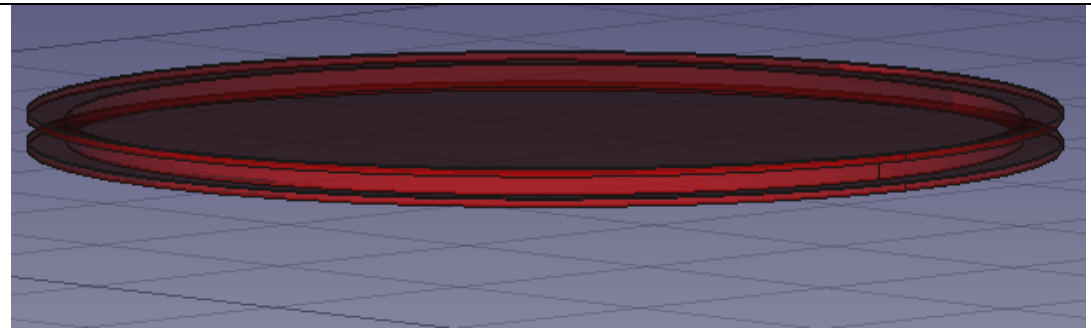


Figura 35. Revoluta generada por la herramienta de revolución de freecad.



Figura 36. Plano de la revoluta.

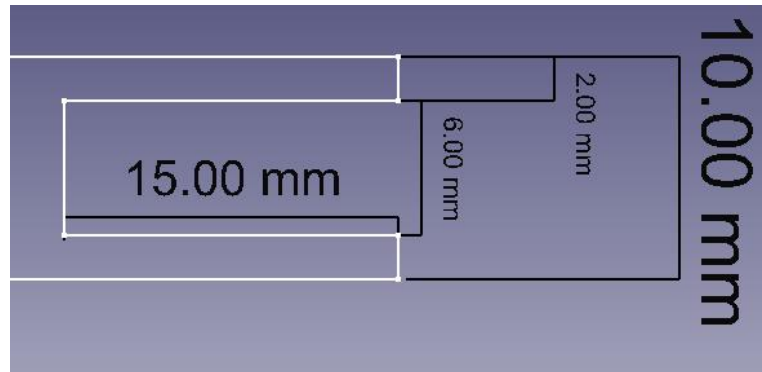


Figura 37. Sección vacante del plano de la revoluta, esta parte permitirá girar y ensamblar la revoluta.

Eje	1	33
-----	---	----



Figura 38. Plano total del eje.

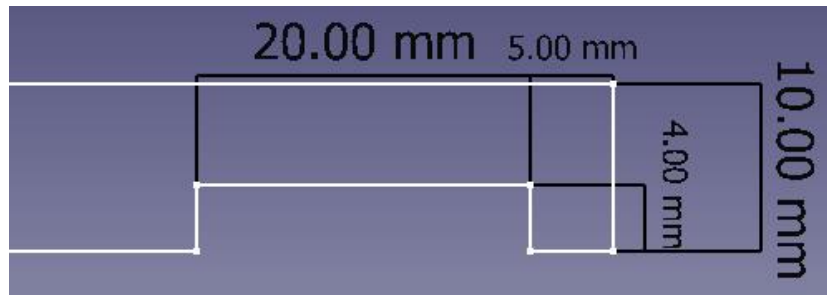


Figura 39. Plano parcial del eje en donde muestra una vacancia para ensamblar lo en los arcos, esto aplica en los dos extremos del eje.

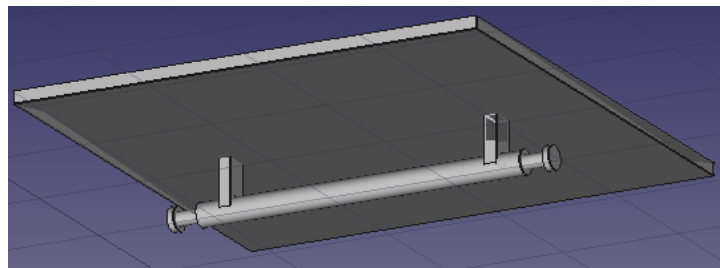


Figura 40. Eje conectado a la base que soportara al panel solar.

La tabla a continuación presenta las medidas de las cúpulas, junto con las adecuaciones realizadas a los componentes y sus planos. Dichas adecuaciones consisten en una vacancia en la cúpula dinámica, esto con el propósito de que se deslice de manera radial en el cilindro base.

Tabla 6. Medidas de Esferas.

Componente	Radio externo (cm)	Radio interno (cm)
------------	--------------------	--------------------



Esfera Mayor	50	48
<div data-bbox="647 268 1097 583" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="548 598 1193 634" data-label="Caption"> <p>Figura 41. Esfera mayor generada por herramienta de revolución.</p> </div> <div data-bbox="656 655 1089 1129" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="690 1144 1052 1180" data-label="Caption"> <p>Figura 42. Plano de la esfera mayor.</p> </div>		
Esfera menor	47	45

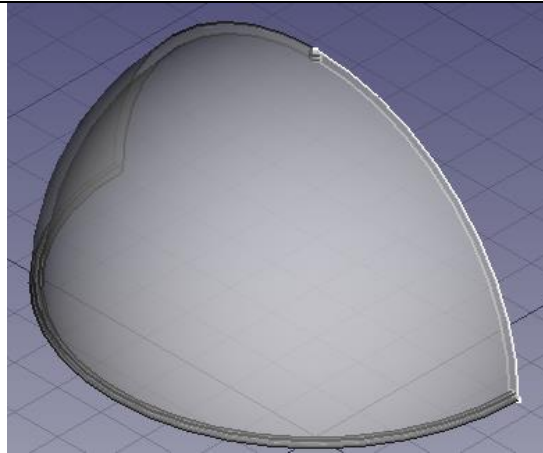


Figura 43. Esfera menor generada por la herramienta revolución.

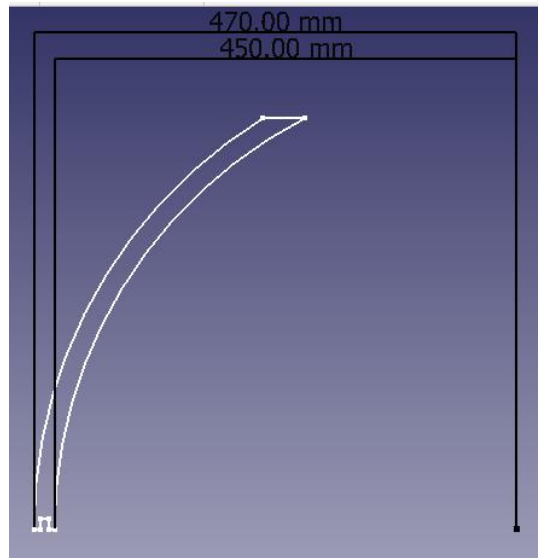


Figura 44. Plano total de la esfera menor.

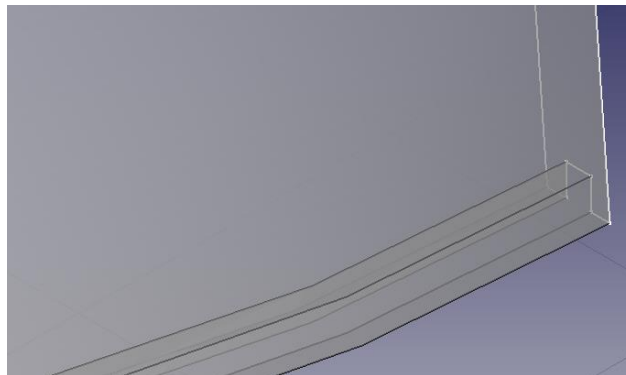
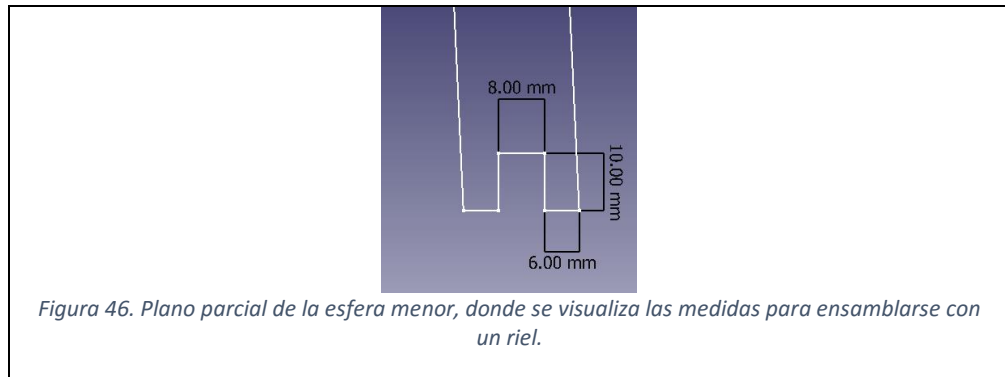


Figura 45. Perspectiva de la esfera donde se aprecia la vacancia para el riel.



En la siguiente figura las cupulas son recortadas en la parte superior a una altura de 40 cm desde el centro, tanto para la cúpula mayor y menor. Se puede observar que la pieza de la tercera base contiene las dos circunferencias externas de ambos domos por lo cual, media circunferencia es igual al radio externo menor y mayor, siendo el radio aproximado de la menor de 24.68 cm y 30 cm en el radio mayor, también la vacancia donde se pondrá una segunda revoluta es de la misma medida que la primera.

Tabla 7. Componentes complejos.

Componente	Radio mayor	Radio menor
Tercera base con vacancia para revoluta	30	24.68

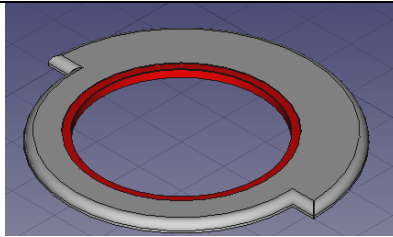


Figura 47. Pieza conformada por las dos semi circunferencias de las cúpulas.

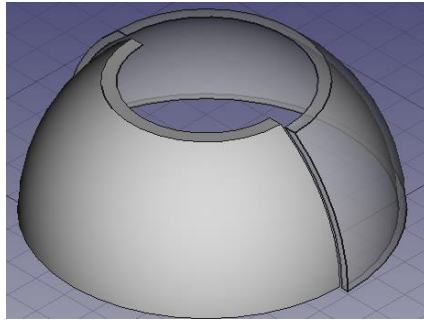


Figura 48. Cúpulas seccionadas en la parte superior.

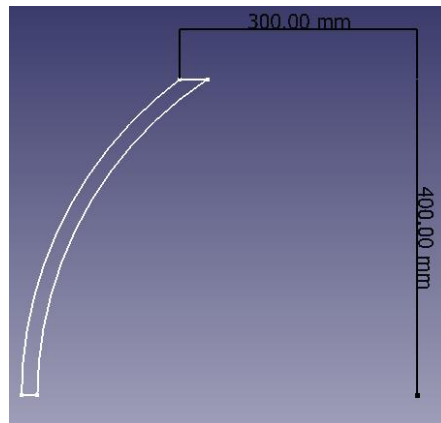


Figura 49. Plano del corte para la tercera base en la cúpula mayor.

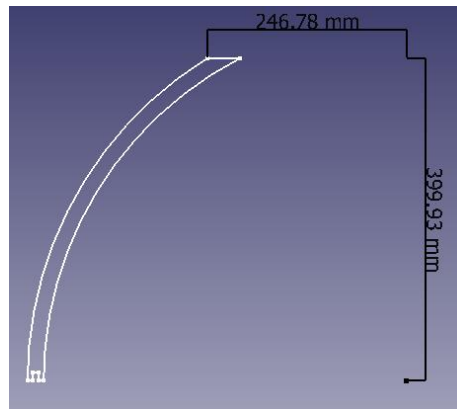
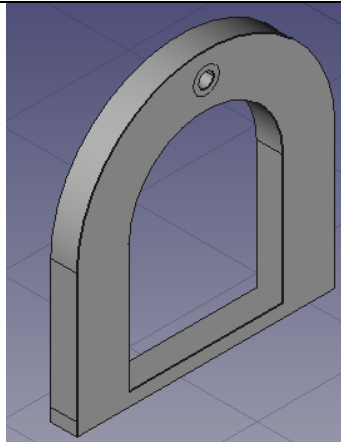
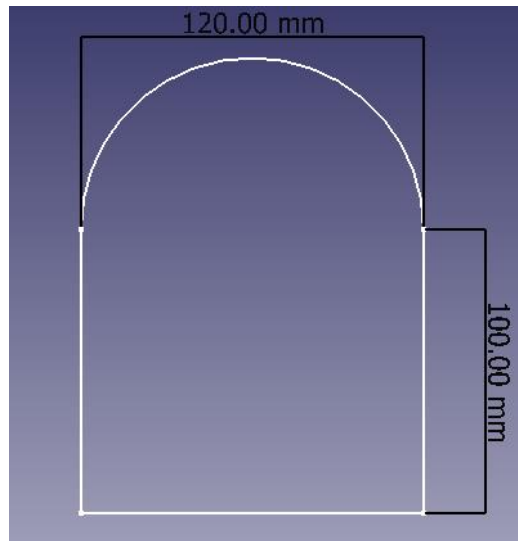


Figura 50. Plano del corte para la tercera base en la cúpula menor.

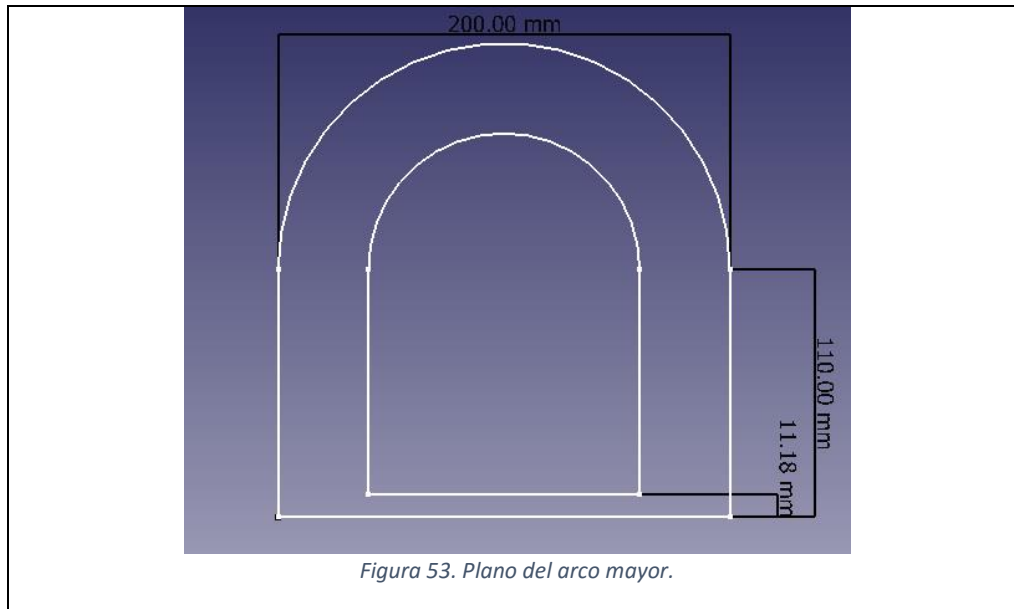
Componente	Alto (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
Arcos	16.1	12	2



*Figura 51. Pieza extruida del plano mayor y recortada por la pieza del plano menor.*



*Figura 52. Plano del arco menor.*



### 3.2 Análisis de esfuerzos

#### Análisis de esfuerzos absolutos en cada componente

En este apartado contiene imágenes, las cuales muestran la simulación de las partes del sistema cuando está sometido a las cargas.

La siguiente tabla muestra los pesos más relevantes de lo que podría ser el prototipo de un sistema fotovoltaico.

Tabla 8. Masa, peso, dimensiones y costos de los elementos más notables en el sistema fotovoltaico.

Componente	Masa (kg)	Peso (N)	Dimensiones (largo, ancho, alto) en cm	Precio en pesos mexicanos
Panel Solar Fotovoltaico De 330 W Monocrystalino	18	177	166.5 x 99.2 x 3.5	3,150

Servo AGFRC 36 kg IP67	0.088	0.86	4 x 3.75 x 2	1,885
Protoboard Chica 400 Puntos	0.1	0.981	8.35 x 5.45 x 0.9	75
Inversor De Energía 110v 500w Dc 12v A 110v Ca	0.53	5.2	19 x 12 x 6	685
Batería Sellada Ritar 12v, 18ah Recargable Rt12180	5	49	18. x 16.7 x 7.7	993

La tabla anterior nos permitirá calcular el peso total de la estructura junto con los componentes electrónicos, con el propósito de estimar si el diseño realizado y el material serían capaces de soportar dicha carga.

La siguiente figura muestra las características de la madera genérica.



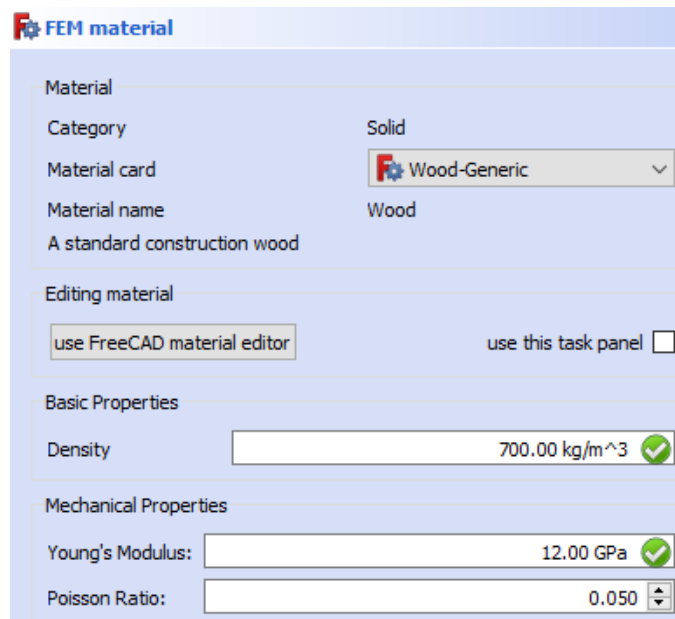


Figura 54. Propiedades de la madera genérica, predeterminada en el software Freecad.

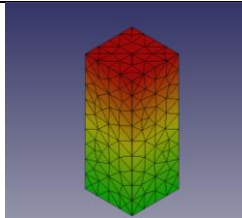
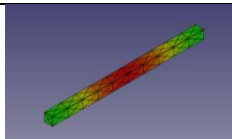
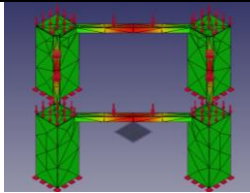
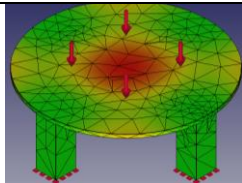
Tomando en cuenta que, si el prototipo se fabricara de madera, en la siguiente figura se muestra el peso aproximado de cada componente de la estructura.

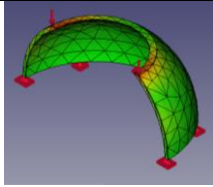
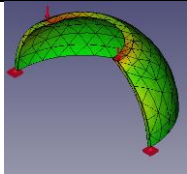
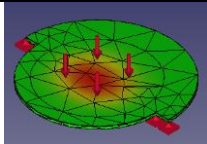
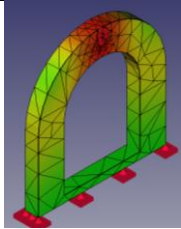
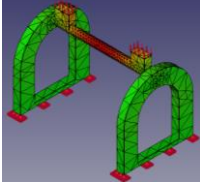
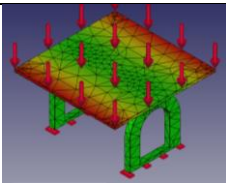
Tabla 9. Volumen, masa y peso de las partes de la estructura del sistema fotovoltaico.

Parte de la estructura	Volumen aproximado de la figura (m <sup>3</sup> )	Masa (kg)	Peso (N)
Placa circular.	0.01571	11	108
Columna de la segunda base.	0.0001285	0.09	0.9
Revoluta de la segunda base.	0.001147	0.8	7.8
Segunda base.	0.00168	1.18	12
Esfera mayor.	0.015	10.6	104
Esfera menor.	0.01329	9.3	91
Tercera base.	0.002814	1.97	19.3
Soporte del eje.	0.000385	0.27	2.6
Eje de la base del panel.	0.00009562	0.067	0.66
Columna de la base del panel.	0.000048	0.0336	0.33
Base del panel.	0.0016	1.12	11

En la siguiente tabla se muestra los resultados de los elementos de la estructura sometida a las cargas, se puede observar en los colores la zona donde reside la mayor cantidad de desplazamiento a causa de la carga que soporta, siendo el color rojo de mayor desplazamiento y el color verde de menor deformación.

Tabla 10. Resultados de desplazamiento máximo en los elementos sometidos a peso, aplicando FEM en Freecad.

Elemento sometido a peso	Peso que se imprime en el elemento. Newtons (N)	Desplazamiento o máximo. Micrómetros ( $\mu m$ )	Figura del desplazamiento máximo
Columna.	594.5	1.03	 <p>Figura 55. Desplazamiento máximo en la columna, simulado en FEM de freecad.</p>
Viga.	594.5	421	 <p>Figura 56. Desplazamiento máximo en la viga, simulado en FEM de freecad.</p>
Conjunto de columnas y vigas.	594.5	36.24	 <p>Figura 57. Desplazamiento máximo en el conjunto de columnas y vigas, simulado en FEM de freecad.</p>
Placa circular.	486.5	19.98	 <p>Figura 58. Desplazamiento máximo en la placa circular, simulado en FEM de freecad.</p>

Cúpula mayor.	222.48	25.28	 <p>Figura 59. Desplazamiento máximo en la cúpula mayor, simulado en FEM de freecad.</p>
Cúpula menor	222.48	25.77	 <p>Figura 60. Desplazamiento máximo en la cúpula menor, simulado en FEM de freecad.</p>
Segunda revoluta.	195.38	9.8	 <p>Figura 61. Desplazamiento máximo en la segunda revoluta, simulado en FEM de freecad.</p>
Soportes del eje.	190.18	6.9	 <p>Figura 62. Desplazamiento máximo en el soporte, simulado en FEM de freecad.</p>
Eje y columnas	188	69	 <p>Figura 63. Desplazamiento máximo en el eje, simulado en FEM de freecad.</p>
Base del panel	177	223	 <p>Figura 64. Desplazamiento máximo en la base del panel, simulado en FEM de freecad.</p>

En los resultados se puede identificar que los elementos que sufren más desplazamiento son las vigas y el panel, siendo el desplazamiento de las vigas de 0.421 mm y 0.223 mm en la base del panel.

Tabla 11. Estrés principal, esfuerzo cortante y Von mises estres.

Elemento sometido a peso	Estrés principal máximo en Kilo pascal (kPa)	Esfuerzo cortante máximo en Kilo pascal (kPa)	Von mises estrés en Kilo pascal (kPa)
Estructura base	55	61	116
Cúpula mayor	171	134	254
Cúpula menor	259	158	300
Segunda revoluta	94	73	128
Soportes del eje	1663	816	1627
Eje y columnas	4433	2883	5440
Base del panel	1500	917	1727

Dado a los resultados de la tabla 11 y comparándolo con los desplazamientos máximos de la tabla 10 se puede deducir que la estructura soportara el peso de los componentes, tomando en cuenta que los esfuerzos más altos registrados se concentran en el eje y columnas, presentando un desplazamiento de tan solo 69 micrómetros, además de que el módulo de elasticidad de los distintos tipos de madera van de los 9 giga pascales a los 13 en comparación los esfuerzos más altos solo llegan a 5 mega pascales.

### 3.3 Circuito eléctrico

El circuito que se muestra en la siguiente figura fue basado en el trabajo "Automatización para paneles solares con el propósito de mejorar la eficiencia en la producción de energía foto voltaica en la finca el Carmen, Comarca san

Agustín, Acoyapa (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua)” (Martínez Alvarez, 2017). El cual, los dos servomotores están conectados en función de la sensibilidad de los fotorresistores en los puertos 10 y 11, también están conectados al voltaje de corriente continua del Arduino y el tercer puerto están conectados con las 4 resistencias. Se puede observar que se utilizan en el prototipo cuatro fotorresistores, cuatro resistencias de 10 kilo Ohmios, una tarjeta Arduino uno y dos servomotores.

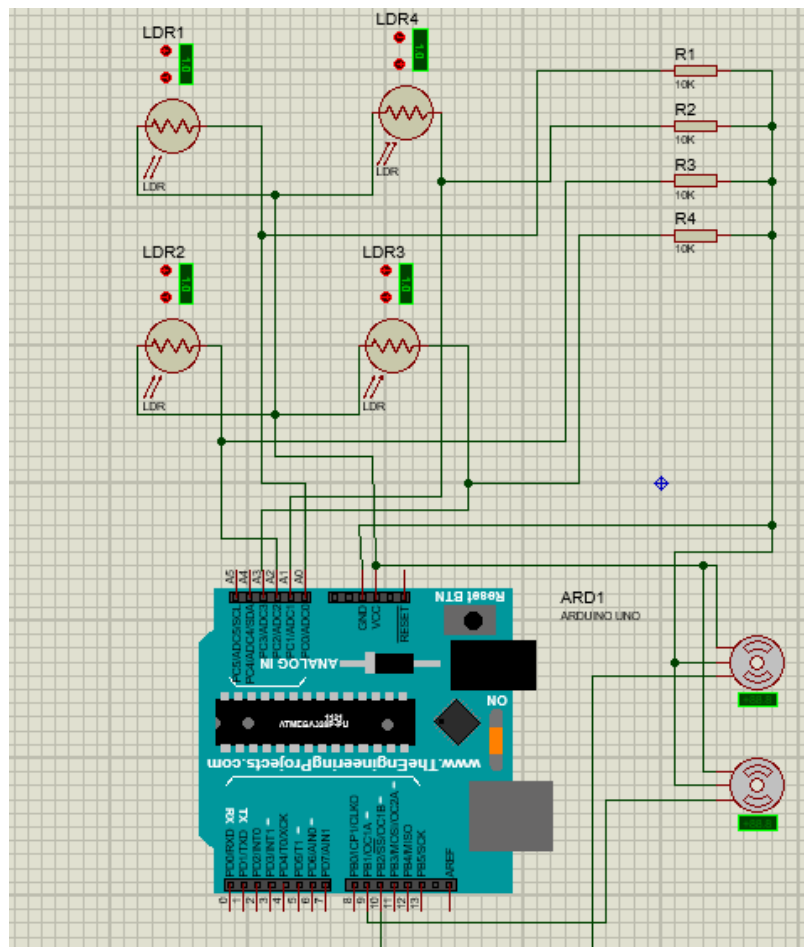


Figura 65. Circuito eléctrico para prototipo con servomotores, vasado del trabajo “ (Martínez Alvarez, 2017)”.

### 3.4 Funcionamiento del seguidor por fotorresistores

El funcionamiento consta de comparar las recepciones de luz entre dos fotorreceptores para darle dirección de giro al servomotor, esto quiere decir que, si un fotorreceptor recibe más iluminación tendera a girar de manera



## Conclusión

1.-El análisis es óptimo dado que las cargas a las que se somete el material debido a los componentes, son inferiores en comparación al módulo de elasticidad del material con el que se simuló el prototipo, el resultado reflejado es de alrededor de 9 a 13 giga pascales, tomando en cuenta que la madera genérica tiene una elasticidad alrededor de 5 mega pascales.

2.-El modelo se puede escalar 1:1, estas serían las medidas originales del modelo, pero también se puede escalar a una escala de 1:3 tomando en cuenta que los componentes serán más pequeños que los propuestos en el listado de la tabla 8.

3.-El algoritmo que se le implementó al dispositivo es eficaz siempre y cuando la luz no se ve interrumpida por completo, en dicho caso el seguimiento se vuelve nulo, puesto que el dispositivo depende de los fotorresistores para direccionar la placa del panel.

4.-El dispositivo sigue de manera ideal al sol en tanto no sea interferido por un objeto, por lo tanto, es recomendable realizar una programación en la cual, en caso de no recibir la luz solar se auto dirija como respuesta al desfase, esto para evitar la re dirección abrupta por parte de la configuración del seguimiento por fotorresistores.

5.- La ventaja del modelo radica en que puede almacenar los componentes ante las inclemencias del ambiente, puede, también puede seguir en tiempo sincronizado al sol, sin embargo, la desventaja son las interferencias que las nubes pueden ocasionar en épocas de lluvias o en algún momento determinado.

## Bibliografía

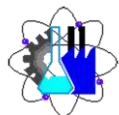
- Toranzo, N. M., Cervantes, A. L., Carralero, L. L. O., Henríquez, J. B., & Costa, O. E. (2015). Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar. *Ingeniería Energética*, 36(2), 190-199.
- Ambrosio, F., Cereghetti, J., & Girod, G. (2016). Sistema de cerramiento de control solar para sistemas constructivos industrializados steel frame. 7-10
- Avello, A. (2014). *Teoría de máquinas*. San Sebastian España: Tecnum. 1-17
- Barrera, M. F. (2010). *Energía solar: electricidad fotovoltaica*. Liber Factory.
- Baume, G. (2014). La esfera celeste. *Series: Libros de Cátedra*. 37-63
- Bolton, W. (2017). *Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Un enfoque multidisciplinario*. México: Alfaomega .
- Cardozo, D. I. K., & Jara, E. A. M. (2014). Automatización de Panel Solar. *FPUNE Scientific*, 5(5).
- Conti, F. (2013). *Motores paso a paso*. Librería y Editorial Alsina.
- El Universo, D. (2013). El universo. *Obtenido de Casa del Hombre Doliente busca ayuda de empresas por problemas financieros durante emergencia sanitaria: <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2020/05/21/nota/7847178/casa-hombredolientebusca-ayuda-empresas-problemas-financieros>*.
- Galván Espinosa, J. M. (2005). Heliodon: simulador de la trayectoria del sol.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mecánica d materiales*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Hoyos, D. C. (2000). Sistema de medición de la irradiancia solar global. . *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; vol. 4*, 23-28.
- Joseph Edward Shigley, J. J. (2001). *Teoría de Máquinas y Mecanismos*. México: Mc Graw Hill.
- López, J. A. P., Luna, A., Bernabé, F., & Flores, B. G. (2017). Comparativa entre la eficiencia de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y la de un sistema fotovoltaico fijo. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, 6(12), 115-140.
- Martínez Alvarez, G. A., & Viachica Flores, H. J. (2017). *Automatización para paneles solares con el propósito de mejorar la eficiencia en la producción de energía foto voltaica en la finca el Carmen, Comarca san Agustín, Acoyapa* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua).
- Mejia, A. E., Londoño, M. H., & Osorio, J. C. (2010). Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico. *Scientia et technica*, 1(44), 245-250.
- Mesa, J. D., Mejia, A. E., & Isaza, R. A. H. (2009). Descripción y análisis del efecto fotovoltaico en la región. *Scientia et technica*, 2(42).



- MESSENGER, R. A. (2010). *Photovoltaic systems engineering. 3era Edición*. New York: CRC Press.
- Nagybabi, F., Alzamora, R., & Seminario, C. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ROBOT SEGUIDOR DE LUZ.
- Papadopoulos, E. V. (2011). *In Photovoltaic Industrial Systems*. Berlin: Springer.
- Perdices, M. B. (2008). *Fuentes de energía para el futuro*. Ministerio de Educación.
- publica, S. d. (2014). *Atlas de geografía del mundo*. Ciudad de México.
- Reyes, F. D. (2013). *Modelo numérico para la generación de mapas de radiación solar y su aplicación al aprovechamiento de energía solar fotovoltaica y termoeléctrica* (Doctoral dissertation, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria).
- Richard G. Budynas, J. K. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw Hill.
- ROLDÁN VILORIA, J. O. ( 2008). *Fuentes de energía*. Madrid: Paraninfo.
- Rosa Maria Rodríguez Jiménez, Á. B. (2004). *Meteorología y Climatología*. FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología).
- Ruiz Ortega, R. (2013). *Análisis de la corrección de las curvas características IV de módulos fotovoltaicos* (Bachelor's thesis).
- SEP. (2014). *Atlas de geografía del mundo*. Ciudad de México.
- Valdiviezo Salas, P. D. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.
- Vázquez Mola, M. A. (2016). *Modelación y simulación de paneles fotovoltaicos para condiciones variables de irradiancia y temperatura* (Doctoral dissertation, Departamento de Eléctrica).
- YOUNG, H. D. ( 2009). *Física universitaria volumen 1*. México: PEARSON EDUCACIÓN.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería



**DR. MARIO LIMON MENDOZA**  
**DR. JOSE GERARDO VERA DIMAS**  
**DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS**  
**DR. PEDRO FLORES SANCHEZ**  
**ING. SERGIO RENE PEDRAL**  
**MONSALVO**  
**P R E S E N T E**

## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT  
SGC Certificada en la norma ISO 9001:2015

FORMA T-4A  
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR

Cuernavaca, Mor., a **09** de **septiembre** del **2022**

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de:  
**TESIS**

Titulado:

**Diseño de un sistema de seguimiento automático para un generador fotovoltaico de pequeña potencia**

Que presenta (el) o (la) **C. TLATEMPA JIMENEZ MARVIN DAVID**

Del programa educativo de: **INGENIERIA MECÁNICA**

**ATENTAMENTE**  
*Por una humanidad culta*

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**DIRECTORA**

Se anexa firma electrónica

### DICTAMEN

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ  
DIRECTORA DE LA FCQeI  
**P R E S E N T E**

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
APROBATORIO	DR. MARIO LIMON MENDOZA	
APROBATORIO	DR. JOSE GERARDO VERA DIMAS	
APROBATORIO	DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS	
APROBATORIO	ING. PEDRO FLORES SANCHEZ	
APROBATORIO	ING. SERGIO RENE PEDRAL MONSALVO	

***El voto del comité es aprobatorio, se anexan firmas electrónicas***

VALH/ATI/srpm



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ** | Fecha:2022-09-07 17:11:24 | Firmante

UgudU5mTIVkRXy9uj4mh1xb5y/MXHjA3pJTDQ+oE3loSs32ltgNzyd+pQ2AqOVfnF4so1q5C8IUUnpDpQb4LKRNBi5yS4o1QILKV9ocDh5IPBMU76jrbJn27dqVzlyNH6LWorp1TAnccDL8hz9nCmDoFrtxM4STqLwSZ0bljT4XCuqUoM9C4RLDL32ANtJTt/OKRwkE3VJ7bwg2DwJtbTUMk17SuiUgNwUph7XRR8d6ZIN9ZqB0i2o75og36YooUvBenf3VNQBIBUP9NvJnsjelEy1+7deN+Z7tSGzUcTXHxa0EdoObH8TwZsqaFoMjyD8QVQlvVraLvcY4m3lc4QA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[EsA6rRdZQ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/5I5fwT2z6j0SarCdluxra60liESb0uYA>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**LUIS CISNEROS VILLALOBOS** | Fecha:2022-09-08 12:47:08 | Firmante

fnZlall1Huz9f9/PERX15J70oiaKm5eFCeGedg2svtcrb9kCyCkUQyMo8blCP8V+w81F+qhYw6DC9oRfAolkj95ITbqQrpbtsJUS1HKjbPbvt4ODjMilO3xAmkQNoSRbmJ/7Fh/mXOmBHywkvx2yVfjJP41jOIT7b3NOGXVcPAgsKwLYTVeQBVs86sLwLHP7dwMsorXLQ1m5MghaJfQBA16ruQOT3OyrpbwD9oo1Pr44WZ3Nd6m7AcVQJdzGR3Uie+xwnynl9gD/9Od7fNJAx2RPWeoncWwS/L++jrxmfqRRp3nVBkFZ36se06aHAIY+pWpA11r3Pk7C9YrUwMQ==

**JOSE GERARDO VERA DIMAS** | Fecha:2022-09-08 17:57:07 | Firmante

Qqllb5i412QcTrfLgH+LnV6VrMzi2hbXhB1QF6r+tlldloOfWab1HjRm13XEg7+xEmlhChCooDsKHPg2+DKLIGTWQpelljalTiOYXbfbSzuf5kTrqAQOYahQLgfv7R4XVmzdR1hqfMU72RGwtjFqzCv/00xmYaPnaCLry0ksLohVFKOdYV77cBrMuyhlEgd5KHP+sHqje1kKRiJ0FjIrgcr/X0Wb47G4b46K9zO3nejZnl2su7SZsDYXm0hL994VG1D7Pw6J936z9oZmCyrakX2lsgPgEk4wplyjJGofZMFWH2yegGM7TbOGmNqnlG5QtzXACS9MqWACLxJS3w==

**MARIO LIMON MENDOZA** | Fecha:2022-09-13 16:50:14 | Firmante

l5mdaW87jXMIJ5K3CrLJO74Y1sr27hfQhRbi33s3bLu06lf6xdWabExSAK8q3O8RrtsqaXtV76p6m0DT9eQNVjSvBHGokXBCW5vY9U7C5vgad/DxIVYINr/uCdTRpzKX1Ge1tgkd m5P8UcFWEKQIagvRK0ZCDZLDmpHRIB4Yku4EejqnrUIYW/LuPhooKsPybQjJLO6D+4OQYod6aCWDKfjXciG4MxYEEYJJO/JHP7DNkMsbC6tMIAQtB+BFmsl+/NMgwwP2KHeb qYmKjbeUpKkPmYhQcWAShwlDBLrojdX0hoG9Tvd+KkoDycEOIORw/ITtJ0rKV9BG8xnIA==

**PEDRO FLORES SANCHEZ** | Fecha:2022-09-13 17:07:10 | Firmante

v3ZBhNGGucNPaeSUKYMK1+0n3M1FqPzLMYgAcHqgg5+MXA3CclxvRIQxSV+CALauFRTGWpHzH3Mlx18lv6kBgEbfFFXOfoydAfaS+fXjj3WHSEhJcgX6wODcqaWwgilJ2o y19Jl1dTCJrMSe/v3HL5zPWR/9KF842Th+8CnAAG69TE1w4HJePr4rhC99n5rSNfx3zs2TYAllou9zeG/UL7p2olsyden7r8UQUJITFPijpF8aq3XL4YDg/SrOvAIW58ZqkGXwUoA+oj Tdet/XtkYiIRKq1d7iN+gQHeO1M+KK3clhPTZOG6x1BcSeEXSy4GMLAZz+1Bxjmy46yA==

**SERGIO RENE PEDRAL MONSALVO** | Fecha:2022-09-14 07:34:44 | Firmante

OQSBTgqY8A9dJ4b0kTqienLqPhSvp4aqNOowJCOIS+JSyrvM5yA8PO5BP626mU+e+ELPuzGSISIOmwJFdkykPKvurHBALqH6CS+DI/aeHyazZm26wObMD6zqgD6RRQH4pR 2cIpxeUjtrHopS65B4ZrD/mEAYQv7eXtsOrN3nUn3jyEXq7j4W69J0PHaMgJlsmqy8uQdYFkAKwVpFtGTQsNliJkP/0qGHQIMZo2wyC2mpV EIANFSG17VyBBwvMGug7KOPd19i+ NKu67A7y9i7r5M1EQdj04/HGGcPDaSk/dvnwAxbqG3L9jNI7bsECSKBPGXjL6fi4YI02ZkRk/jA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



DQCtOcgze

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/lrmCMVCW7m9GMgdug68wu3aJEmAsHZvV>

