



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO LIMPIADOR
AUTOMATIZADO PARA PANELES SOLARES DE
DIMENSIONES 160 x 90 x 4 cm**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

Autores:

Bach. Carrasco Delgado Jorge Emerson

<https://orcid.org/0000-0003-4342-8237>

Bach. Ramirez Vilchez Manuel Guillermo

<https://orcid.org/0000-0003-0996-2217>

Asesor:

Ing. Alvarado Silva Carlos Alexis

<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

Línea De Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2020

DISEÑO DE UN PROTOTIPO LIMPIADOR AUTOMATIZADO PARA
PANELES SOLARES DE DIMENSIONES 160 x 90 x 4 cm

Aprobación del Jurado

Mg. Silvia Yvone Gastiaburú Morales
Presidente del jurado de tesis

Mg. Juan Carlos Vives Garnique
Secretario del jurado de tesis

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva
Vocal del jurado de tesis

Dedicatoria

Dedicado a mis padres Danilo y Bertha, quienes fueron el impulso diario y su apoyo desde que inicie esta carrera, mis abuelos Guillermo, Magda, Manuel y Terencia , mis tías Jesus, Rosa, Jenny, mi esposa Katlheen mis hijos Manuel y Magida Grazziabel, quienes en todo los momentos difíciles y circunstancia que junto a ustedes pase, pero que siempre estuvieron para no dejar de lado mi carrera y culminar esta etapa.

Ramirez Vilchez Manuel Guillermo

A mis padres, el Prof. Jorge Carrasco Sanchez y la Prof. Lucy del Carmen Delgado Becerra, quienes con su ternura, consejos y enseñanzas han inculcado sus valores, gracias a su apoyo a lo largo de mi formación académica y poder concluir con mi tesis. A mis hermanas Yelitza y Gianna, mi familia y amigos que es lo más valioso que Dios me ha dado, eternamente agradecido con todos.

Carrasco Delgado Jorge Emerson

Agradecimiento

Agradezco a dios siempre como cada día de mi vida, por poner las personas correctas en mi camino.

Agradecer a mi familia, docentes y compañeros quienes se tomaron algún momento de su tiempo para brindarme un consejo y enseñanzas vividas que permitieron fortalecerme como persona.

Un agradecimiento especial para mi asesor Ing. Carlos Alexis Alvarado silva por sus consejos y apoyo para el desarrollo de presente documento

Ramirez Vilchez Manuel Guillermo

Gracias a Dios por permitirme la oportunidad de vivir y guiarme por el camino correcto, por disfrutar a mi familia. A mi asesor Mg. Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva, expresar un total agradecimiento por sus consejos y orientación a lo largo del desarrollo de mi tesis, además agradecer su compromiso, tiempo y paciencia. A los docentes de la Facultad Ingeniería Mecánica Eléctrica de dicha casa de estudios, por tantas enseñanzas brindadas.

Carrasco Delgado Jorge Emerson

RESUMEN

Para desarrollar este trabajo de diseñar un prototipo limpiador automatizado para paneles solares con dimensiones de 160 x 90 x 4 cm

Surge la necesidad que esta región sur con plantas solares esta propensas a la contaminación de sus paneles solares que afectan la salida de la energía eléctrica total, relacionados con un alto rendimiento de energía solar. Este proyecto beneficia a las empresas localizadas en el sur del Perú que están propensas a la contaminación de paneles solares, las cuales atraen un gran número de contaminantes como la suciedad, el polvo y las heces de aves, etc.

Ya que los paneles solares siempre son incapaces de detectar la luz solar cuando están con suciedad, con el tiempo esto reduce menormente su eficiencia e incluso se apagan por completo porque están expuestas al aire libre.

Este diseño de prototipo es capaz de eliminar la suciedad de los paneles para un buen rendimiento y mejorar su capacidad general del panel solar.

PALABRAS CLAVES: Panel Solar, limpiador automático, energía solar, prototipo.

ABSTRACT

To develop this work of designing an automated cleaning prototype for solar panels with dimensions of 160 x 90 x 4 cm.

The need arises that this southern region with solar plants is prone to the contamination of its solar panels that affect the total electrical energy output, related to a high yield of solar energy. This project benefits companies located in southern Peru that are prone to contamination from solar panels, which attract a large number of pollutants such as dirt, dust and bird droppings, etc.

Since solar panels are always unable to detect sunlight when they are dirty, over time this reduces their efficiency less and they even turn off completely because they are exposed to the open air.

This prototype design is capable of removing dirt from the panels for good performance and improving your overall solar panel capability.

KEY WORDS: Solar Panel, automatic cleaner, solar energy, prototype.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.	12
1.2. ANTECEDENTES:	15
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:	17
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.	17
1.4.1. En el aspecto institucional.	17
1.4.2. En el aspecto científico.	17
1.4.3. En el aspecto académico.	17
1.4.4. En el aspecto económico.....	18
1.4.5. En el aspecto ambiental.	18
1.5. OBJETIVOS.	18
1.5.1. Objetivo General.	18
1.5.2. Objetivos Específicos.....	18
1.6. MARCO TEÓRICO	18
1.6.1. Teorías Relacionadas al Tema:.....	18
1.6.2. Clasificación y análisis:	21
1.6.3. Diseño de robot:	42
1.6.4. El cálculo de la irradiación solar:	47
1.6.5. Automatización.....	56
II. MÉTODOS:	58
2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:.....	58
2.2. PARÁMETROS DE DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	59
2.3. VARIABLES INDEPENDIENTES DE DISEÑO.....	59
2.3.1. Variables dependientes.	59
2.3.2. Variables intervinientes.	59
2.4. DIAGRAMA DE CAJA NEGRA:	60
III. RESULTADOS	61
3.1. MODELO DE ENTREVISTA:	61
3.2. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE DISEÑO:	66

3.3.	RECOMENDACIONES DE DISEÑO.	66
3.3.1.	Recomendaciones de Diseño para el Prototipo Limpiador:	69
3.4.	DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA EN TÉRMINOS DE INGENIERÍA:	73
3.4.1.	Identificación de conceptos	74
3.4.2.	Matriz Morfológica	75
3.4.3.	Generación de 5 conceptos Alternativos.....	78
3.4.4.	Criterios de Selección de Diseño.....	81
3.4.5.	Determinar de las dimensiones de la estructura:.....	83
3.4.6.	Dimensiones del Equipo.	83
3.5.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	84
3.5.1.	ELECCIÓN JUSTIFICADA DE LA SOLUCIÓN	86
3.5.2.	Tipo de tracción:.....	86
3.5.3.	Sistema de limpieza:	87
3.5.4.	Sistema de suministro eléctrico, control y potencia:.....	87
3.5.5.	Selección de materiales para el sistema:	88
3.5.6.	Cálculos que Complementan el diseño del prototipo limpiador:	89
3.5.7.	Simulación para determinar.....	96
3.5.8.	Estudio Económico:	97
IV.	CONCLUSIONES	98
V.	REFERENCIAS	100
VI.	ANEXOS:	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.SISTEMA DE LIMPIEZA CON PÉRTIGAS Y AGUA.	22
Tabla 2.SISTEMA DE LIMPIEZA AGUA A PRESION.	25
Tabla 3.SISTEMA RODILLO AUTOPROPULSADO:	29
Tabla 4.SISTEMA DE LIMPIEZA MECANIZADOS AUTOMATICOS.	31
Tabla 5.SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.	33
Tabla 6.TECNOLOGIA DE LIMPIEZA HELIOTEX.	37
Tabla 7.IRRADIACIÓN EN DEPARTAMENTOS - ZONA SUR DEL PERÚ	51
Tabla 8.Características de diseño del limpiador solar.	66
Tabla 9.Características de diseño del limpiador solar.	70
Tabla 10.Recomendaciones de diseño en el aspecto de geometría.	71
Tabla 11.Recomendaciones de diseño en el aspecto técnico.	72
Tabla 12.Características del prototipo.	73
Tabla 13.Puntuación de criterios	74
Tabla 14. Indicadores ponderados	74
Tabla 15.Matriz Morfológica	76
Tabla 16.Selección de casos	77
Tabla 17. Criterios técnicos de evaluación para diseños en fase de conceptos	82
Tabla 18.Especificaciones técnicas	84
Tabla 19.Especificaciones técnicas de Bomba	85
Tabla 20.Costos generales del limpiador de paneles solares	89
Tabla 21.Resultados de panel solar	93
Tabla 22.Resistencia del diente según la velocidad angula.	94
Tabla 23.Presupuesto perfiles aluminio.	97

Índice de figura

Figura 1. Limpiador con pértigas de fibra de carbono	22
Figura 2.Vehículo con grupo motobomba para limpieza a presión	23
Figura 3,Operarios de limpieza sobre plataformas elevadoras.	24
Figura 4.Equipo de limpieza solar bright con vapor de agua	26
Figura 5.Equipos de limpieza - autopropulsores fijas y seguimiento.	27
Figura 6.Limpieza de paneles	28
Figura 7.Sistema de auto limpieza.	30
Figura 8.Compresor acoplado a pistola de presión.	32
Figura 9.Robot para limpieza de módulos	34
Figura 10.Esquema principio funcionamiento.	35
Figura 11.Prototipo presentado por NCPRE	36
Figura 12.Tecnología Heliotex que utiliza agua y jabón	37
Figura 13.Estructura del sistema PV que utiliza limpieza electrostática	39
Figura 14.Desplazamiento del robot V1.0 a lo largo de paneles	39
Figura 15,Rueda motriz emparejada a través de una cadena.	40
Figura 16.El sistema de robot de limpieza V1	41
Figura 17.Sun Brush limpieza automática completa sobre paneles solares.	41
Figura 18.Mapa de la Región Arequipa.	48
Figura 19.Mapa De La Región Moquegua.	49
Figura 20.Mapa de la Región Tacna	50
Figura 21.Robot básico para limpieza de paneles solares	78
Figura 22.Prototipo limpiador de paneles solares automatizado	79
Figura 23.Robot automatizado para limpieza de paneles solares.	80
Figura 24.Panel de base de carbono	80
Figura 25.Limpieza aplicando escobillas.	81
Figura 26.(diseño del prototipo)	84
Figura 27.Bomba MDC-PUMP-240	85
Figura 28.Características de chapa de aluminio	86
Figura 29.Calculadora solar	92
Figura 30.Plano final de robot limpiador de paneles solares	94

Figura 31.Lógica de programación en Arduino	96
Figura 32.Cilindro giratorio de aluminio con felpa	97

ANEXO 1: Resumen de encuestas	101
ANEXO 2: Tabla de capacidad de transmisión en poleas, Intermec	103
ANEXO 3: Catalogo de poleas de 2 canales, Intermec	105
ANEXO 4: Tabla para selección del tipo y perfil de fajas, Intermec	106
ANEXO 5: Planos De Prototipo	107

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

El creciente interés en las energías renovables ha llevado a la industria de la energía solar fotovoltaica (PV) a expandirse notablemente en la última década. En el año 2013, en la Unión Europea se produjeron 80 megavatios-hora de electricidad que cubren el 3 por ciento de la demanda total de electricidad. Debido a que la energía fotovoltaica es una tecnología accesible, se ha convertido en una inversión popular tanto para empresas como para usuarios residenciales. En consecuencia, esta demanda ha estimulado la investigación para aumentar la potencia de salida global de los sistemas fotovoltaicos, lo que hace que los laboratorios de todo el mundo trabajen arduamente para que la tecnología sea más eficiente y rentable. **(ADINELSA, 2013)**

Independientemente el esfuerzo de la industria para acortar el tiempo de recuperación, debido a una pérdida evitable a la suciedad. Como resultado, se tiene una capa de suciedad que se posa sobre el vidrio, lo que reduce su transmitancia, por lo tanto, disminuye la potencia de salida de todo el sistema. La velocidad a la que se reduce la potencia con el tiempo es bastante impredecible, ya que depende de diversos factores ambientales, como el tipo de suelo, la actividad agrícola, la precipitación, el viento, los excrementos de aves. El orden común de magnitud de las pérdidas debidas a la suciedad puede ser se estima entre 3-8% pero puede llegar hasta 30-40% en climas secos y arenosos. Al ver que la precipitación juega un papel considerable en la capacidad de limpieza, se debe decir que las precipitaciones a menudo no son suficientes debido a algunos tipos de cemento y adherencia del suelo. Lo mismo vale para los excrementos de aves que tampoco se desechan.

Sin embargo, limpiar los paneles solares no siempre es tan sencillo. Para empezar, está el tema de la accesibilidad. Debido a que los paneles fotovoltaicos a menudo están situados en lugares peligrosos y de difícil acceso, puede ser difícil limpiarlos manualmente y lleva tiempo hacerlo de forma segura. En segundo lugar, la limpieza de un panel solar se efectuó una vez al año puede no tener un impacto significativo en el rendimiento energético anual por la sencilla razón de que la suciedad se acumula nuevamente en un corto período de tiempo, lo que hace que la diferencia sea insignificante. Especialmente si necesita contratar a alguien para que limpie el panel por

usted, puede que no sea económico, y ya que la suciedad puede provocar daños permanentes en el vidrio, lo que limita la vida útil de la instalación. **(Universidad de Lovaina, Tecnología Campus De Nayer, 2015).**

El territorio peruano está tiene como vecino a Ecuador, a diferencia de los países nórdicos, él cuenta con sol durante casi todo el año. Según el Atlas Solar del Perú diseñado y elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, su radiación es muy elevada a lo largo de todo el año, la sierra cuenta con aproximadamente 5.5 a 6.5 kWh/m²; en la Costa es de 5.0 a 6.0 kWh/m² y en la Selva de 4.5 a 5.0 kWh/m². es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes del uso de combustibles fósiles.

Hay tres espacios en los cuales se ha desarrollado el empleo de energía solar en el Perú. El primer espacio (y más común) es el uso de termo energía a través de termas de agua en el sur peruano, específicamente Arequipa y Puno, departamentos en los que hay algo de 30 empresas especializadas en fabricación y mantenimiento de estos equipos ADINELSA, es la encargada de la electrificación rural en áreas no concesionadas, hoy en día posee un conjunto de 1500 sistemas fotovoltaico domiciliario (SFD), que operan en el sur del peruano.

El tercer espacio de desarrollo, y el más prometedor, es el que ha nacido con la concesión de las cuatro centrales solares que se enlazaran al Sistema Eléctrico Nacional (SEIN) después de la primera licitación de suministro eléctrico de Recursos Energéticos Renovables (RER) que condujo el Ministerio de Energía y Minas. Las empresas españolas T- Solar Global y Solar pack Corporación Tecnológica son las responsables para construir las cuatro centrales fotovoltaicas, con una potencia nominal de 80 megavatios (MW). Una de las principales características de la energía solar es su capacidad para adaptarse a proyectos de mediana y pequeña extensión para consumidores individuales. No hay duda de que las alternativas de uso de la energía solar son amplias. Sin embargo, aún existe falta de conocimiento por sectores que pueden aprovecharlo con más intensidad. Impulsar el desarrollo de este subsector energético sería clave ya que es una gran alternativa para variar la actual matriz energética mundial intensiva en gases de efecto invernadero. **(Grupo Rural, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017).**

Uno de los objetivos propuestos es de disminuir la contaminación ambiental por combustión interna. Si nos enfocamos en el costo de nuestro primer prototipo, este tiene que

ser la mitad del costo existente en el mercado, esto es la mitad de un dólar por watts. La producción de inversores, controladores, elaboración de paneles y maquinaria ha costado al menos 150 soles sin contar la mano de obra efectuada. En la Universidad Pedro Ruiz Gallo, la Escuela de Física ha estado experimentando en sus laboratorios haciendo pruebas con sistemas de refrigeración disminuyendo la eficiencia y aumentando el calor. Al aplicar este sistema de energía solar en la comunidad de Monte Hermoso (Mórrope) se puede tener energía suficiente como para encender equipos electrónicos obtenido igualdad en energía que las zonas aledañas. (ANDINA/Prensa, 2017)

En la región arequipeña se genera un parque fotovoltaico que genera hasta 460 MW de potencia para abastecer a media ciudad, sin lugar a duda esta ciudad cuenta con la mejor potencia solar del Perú. Es por ello que la compañía internacional Continua Energías Positivas, puso la mirada distrito de La Joya para construir, montar, operar y dar mantenimiento a tres proyectos energía solar. La empresa dio nombres a sus proyectos como los nombres de los principales volcanes: Misti, Chachani y Pichu. Los principios de este proyecto son evaluados por el Ministerio de Energía y Minas (Minem). Una vez iniciado este proyecto, inyectarán energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) por medio de la Subestación San José para que sea transportada y distribuida en todo el Perú. En conjunto generarán 460 MW en total. Se espera que esta energía renovable reduzca el efecto invernadero que es producido por las emisiones de bióxido de carbono (CO₂); adicional a ello disminuirá la demanda del sector industrial y minero. "Cuando crezca la energía solar fotovoltaica, será más económica en comparación con la termoeléctrica", relató.

Hoy en día el kilovatio/ hora de energía termoeléctrica tiene un costo de 0.85 centavos, sin embargo, la solar está a 0.92 centavos. Cuando crezca la demanda, la mayoría de compañías comprará ya que estará conectada con el SEIN. Por cada uno de los proyectos mencionados, la ciudad de Arequipa obtendrá durante el funcionamiento de las plantas ingresos por la servidumbre y el uso de terrenos. (La República, 2012)

El funcionamiento de la planta de generación eléctrica Rubí se basa en captar la radiación solar por medio de paneles solares logrando así convertirlos en energía eléctrica. Por otro lado, Rubí convertirá la corriente continua en alterna. La central de energía Rubí se encuentra ubicada en Moquegua, tiene más de 560,000 paneles solares, según lo

indica el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). **(REDACCIÓN PERÚ21, 2018)**

El proyecto Tacna solar 20 ts, se favorece de los rayos solares generando energía limpia, diversificando el marco energético peruano. Se aprovecharon los sistemas de hélices y punta helicoidal que tiene un diámetro de 350 mm para perforar los micropilotes, los trabajos ejecutados fueron a base de perforadoras atlas COPCO CDB MOD A-52 y el modelo A-66, y también se utilizó 02 perforadoras COMACCHIO MC_800, esta es una central tipo solar fotovoltaica de 20 MW de potencia instalada, ensamblaje de equipos, rápida operación y fácil mantenimiento, adicionalmente cuenta con una línea de transmisión que reparta la energía hasta llegar a la subestación héroes, la que se acoplará al sistema de energía eléctrica. finalmente es así que Tacna Solar aprovechará la potencia de radiación solar para generar electricidad limpia y renovable en el Perú. **(terratest.com.pe, 2012)**

1.2. Antecedentes:

El objetivo de este documento es encontrar una solución más rentable para el principio de accionamiento con el fin de disminuir el precio total del robot, lo que lo hace rentable en plantas fotovoltaicas a menor escala. El objetivo es devolver su inversión en dos años tal y como se hace en los proyectos europeos como periodo de garantía, mientras se mantiene limpia una planta familiar promedio. Se investigó un principio, donde un robot usa dos cables conectados a los bordes del techo. Este principio de conducción se modeló virtualmente para simular su rendimiento. Posteriormente, se creó una prueba de concepto para validar el modelo. La investigación encontró que este principio de conducción es una alternativa prometedora cuando se aplica a plantas pequeñas. El sistema es ágil, flexible y muy rentable. Según una estimación aproximada, para una familia promedio, el robot recuperaría su precio en dos años con pérdidas del 15%. Las plantas de mayor tamaño devuelven su inversión a pérdidas aún menores. La confiabilidad tiene que ser mejorada, sin embargo, **(Matthias Kegeleers, 2015)**.

El proyecto tiene como objetivo aumentar la eficiencia de las plantas eléctricas que operan con energía fotovoltaica al resolver el problema de la acumulación de polvo en la superficie del panel solar, lo que conduce a una reducción en la producción de la planta y en la eficiencia general de la planta. Se propone desarrollar un sistema de limpieza de paneles solares que pueda eliminar el polvo acumulado en su superficie de forma regular y mantener la producción energética solar. El trabajo se basa en un sistema robótico que puede moverse de

forma autónoma en la superficie de los paneles solares mediante ventosas neumáticas y utiliza métodos secos para la limpieza, como el cepillo cilíndrico giratorio y el sistema de aspiración, teniendo en cuenta la disponibilidad limitada de agua en las zonas donde localizado principalmente. Este proyecto también tiene como objetivo reducir la participación humana en el proceso de limpieza de paneles solares, ya que es un ambiente muy peligroso para ellos en un sol abrasador. **(Shaikh Tariq Mobin Roll, 2015).**

La comprensión de los factores que afectan la utilización de paneles fotovoltaicos en la alta atmósfera en las regiones de concentración de energía. Se desarrollan una regresión simple modelo que describe la potencia máxima de salida de un PV, y luego usar a un operario para corregir el efecto del ángulo incidente sin la necesidad para cualquier configuración experimental. Posteriormente, pasamos a abordar el problema de la acumulación de polvo tratando de relacionan la tasa de acumulación de polvo con diferentes condiciones climáticas. Aunque nuestros datos tenían una solución temporal limitada, logramos describir cualitativamente el polvo dependencia de la acumulación de varios parámetros climáticos. Un modelo para acumulación de polvo combinado con un modelo que describe la salida de potencia FV nos permiten predecir mejor la producción de energía y los rendimientos de energía, por un lado, optimizar la limpieza de los módulos fotovoltaicos en el otro. También ese modelo nos ayudará en desarrollar recubrimientos funcionalidades que minimizan la acumulación de polvo identificando y comprendiendo los factores que afectan la acumulación de polvo. Estos revestimientos que minimizan la acumulación de polvo se investigaron como bien. Una prueba al aire libre para evaluar la capacidad de minimizar la acumulación de polvo en PV de un recubrimiento comercial se llevaron a cabo pruebas son esenciales para darnos más comprensión sobre los diferentes parámetros que deben tenerse en cuenta cuando desarrollando y evaluando tales revestimientos. **(Zaid M. Tahboub, 2011).**

En la tesis de pregrado referente al diseño de un robot que tiene por función limpiar vidrio inalámbricamente el mismo que permite, mediante una fuerza magnética que ejerce los dos módulos de trabajo denominados modulo maestro (interior del lugar) y modulo esclavo (exterior del lugar), una adherencia al vidrio excelente dando así un ajuste seguro para su funcionamiento. El módulo maestro consta de llantas antideslizantes que admiten el movimiento sobre la superficie del vidrio, imanes permanentes para ejercer fuerza de atracción entre los módulos a través del vidrio, detección de perfiles u objetos

de las ventanas mediante sensores ultrasónicos receptor IR para los mandos del control remoto; y discos limpiadores con sus respectivos paños de microfibra para la limpieza de la superficie del vidrio. La comunicación entre los dos módulos es inalámbrica mediante módulos de radio frecuencia, el transmisor en el módulo maestro y el receptor en el módulo esclavo. Por medio de una tarjeta electrónica de Arduino Nano se toma datos de y control de actuadores. El prototipo presenta dos modos de trabajo, un modo manual donde se controla a los módulos a través de botones de movimiento y dirección con un control remoto y un modo automático para realizar la secuencia de limpieza ya establecida. (Vásquez Rosero, Daniel Roberto, 2015).

La tesis enfocada en el diseño de un robot que opere como asistente de hogar, tipo aspiradora autónoma, se realizó el diseño del hardware, que comprende el diseño mecánico (ubicación de motores, de sensores) y diseño electrónico del prototipo (circuito de potencia de los motores y diseño del circuito para los sensores). (Edison Javier Samaniego Paucar, 2009).

1.3. Formulación del Problema:

¿Cuál será la configuración funcional y geométrica adecuada para el Diseño de un prototipo limpiador automatizado que permita la limpieza de paneles solares?

1.4. Justificación e importancia del estudio.

1.4.1. En el aspecto institucional.

La ejecución de la investigación y la aplicación de este proyecto son de suma importancia para la región sur del Perú específicamente en las ciudades (Tacna, Moquegua y Arequipa), porque tendrán a su disposición el diseño de una máquina funcional de ensayo con el tema expuesto lo cual contribuirá el desarrollo de nuevas tecnologías con respecto al método de limpieza de paneles solares.

1.4.2. En el aspecto científico.

Esta investigación se orientará a generar nuevos conocimientos, a constatar aquellos que forman parte del saber y favorecer el proceso didáctico y el desarrollo innovador de tecnología y ciencia.

1.4.3. En el aspecto académico.

Con base en el contexto mencionado anteriormente, el proyecto generará medios con los cuales facilitaría el estudio de asignaturas tales como: Ingeniería de materiales, Resistencia de

Materiales, Diseño de Elementos de Máquinas, Diseño de Máquinas.

1.4.4. En el aspecto económico.

Este diseño será menos costoso y más asequible en comparación a las máquinas ofrecidas en el mercado y, por ende, representará un ahorro significativo para la universidad. Y mejorara la eficiencia en los paneles solares lo que brindara mayores ingresos económicos.

1.4.5. En el aspecto ambiental.

Este diseño permitirá disminuir las partículas de polvo en los paneles solares. Para este fin se cuenta con fuentes de información y testimonio; como tesis realizadas, máquinas diseñadas, etc., conocimiento teórico y práctico necesario, los recursos humanos y físicos dentro y fuera de la institución.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Diseñar un prototipo limpiador de paneles solares automatizado para mejorar la eficiencia.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- A. Determinar los requerimientos de la limpieza de un panel solar.
- B. Originar y evaluar conceptos capaces de solucionar el problema.
- C. Establecer una configuración óptima con dimensiones y materiales en la maquina capaz de satisfacer las necesidades requeridas.
- D. Calcular las cargas las cuales estará operando el prototipo
- E. Diseñar los planos generales del prototipo.
- F. Elaborar el presupuesto del prototipo y análisis económico (TIR, VAN Y ROI).
- G. Desarrollar el plan de mantenimiento de la máquina.

1.6. MARCO TEÓRICO

1.6.1. Teorías Relacionadas al Tema:

a. Factores ambientales que afectan la eficiencia en los paneles solares:

La generación de energía solar puede verse influenciada por muchos factores. Los principales factores que reducen o impiden la generación de energía para los paneles fotovoltaicos son; sombras, nieve, altas temperaturas, polvo, suciedad, excrementos de pájaros, polen y sal marina. Los factores ambientales que afectan la generación de energía solar serán discutidos a continuación.

a.1. Sombra:

Al instalar paneles fotovoltaicos, es importante tener en cuenta dónde caen las sombras. Cuando los paneles fotovoltaicos no están instalados correctamente, su salida se puede reducir (Sullivan, 2011). Para evitar reducir la eficiencia del panel fotovoltaico, se debe considerar lo siguiente:

- Las dimensiones de cualquier sombra en diferentes épocas del año.
- La estructura y el ángulo del panel fotovoltaico.
- Seguimiento de cómo la sombra influye en el panel.

a.2. Nieve:

Los paneles fotovoltaicos aún pueden generar electricidad bajo una ligera nevada, pero una vez que la nieve bloquea por completo la radiación solar, los paneles fotovoltaicos dejarán de generar electricidad (Adele, 2010). Además, si un área de un panel solar está completamente cubierta por la nieve, el resto del panel puede dejar de funcionar debido a la forma en que las células solares están conectadas entre sí (Adele, 2010). En este proyecto no se consideró la nieve porque raramente ha nevado en Támesis.

a.3. Temperatura externamente alta:

Cuando los paneles alcanzan altas temperaturas, la eficiencia energética disminuye. Hill informó que la eficiencia del rendimiento energético cae un 1,1% por cada grado adicional en grados Celsius una vez que la temperatura del panel fotovoltaico alcanza 42°C. En este proyecto no se consideraron temperaturas extremadamente altas, ya que la temperatura en Thames raramente alcanza este nivel. (Hill, 2013).

b. Efecto del polvo en los paneles solares:

b.1. Polvo, suciedad, excrementos de pájaros, polen y sal marina:

El polvo acumulado en las superficies de los paneles fotovoltaicos puede provenir de

muchas fuentes diferentes y puede tener un gran impacto en la producción de electricidad. La eficiencia del panel solar se puede reducir hasta en un 50% en un ambiente polvoriento, ya que esto interfiere con la cantidad de luz solar directa recibida en la matriz fotovoltaica (Kasim, 2010). La tasa de polvo en Thames es baja, pero se recomienda una limpieza anual para eliminar el polvo acumulado durante este tiempo. El polen de los árboles en flor, los excrementos de pájaros y las salpicaduras de sal del mar son problemas particulares del área del Támesis (B. Stanton, comunicación personal, 6 de noviembre de 2013).

c. Efectos del polvo en la eficiencia del panel solar.

Se sabe que la potencia de salida generada por los paneles fotovoltaicos sufre pérdidas de eficiencia energética a lo largo del tiempo debido a la acumulación de polvo y otra suciedad. En Medio Oriente, India y Australia, la producción de energía fotovoltaica se ve significativamente afectada por la acumulación de polvo en las superficies de los paneles fotovoltaicos. En Arabia Saudita, la acumulación de polvo disminuye la producción de energía hasta en un 50% (Adinoyi, 2013).

La investigación realizada por un estudiante de ingeniería en Bagdad en 2010 encontró que la transmitancia disminuyó en un período de un mes en aproximadamente un 50% en promedio, debido a la deposición natural de polvo en paneles fotovoltaicos (Kasim, 2010).

A medida que aumenta el crecimiento del uso del panel fotovoltaico, también aumenta la necesidad de monitorear y limpiar las superficies de los paneles. La frecuencia de limpieza de los paneles fotovoltaicos depende del entorno de la instalación solar. Una compañía de Nueva Zelanda sugiere que los paneles solares deberían limpiarse una o dos veces al año en el entorno de Nueva Zelanda (B. Stanton (comunicación personal, 6 de noviembre de 2013)).

d. Análisis de diversidad tecnológica de limpieza:

A continuación, se procede al análisis de los diversos sistemas de limpieza utilizados en paneles. Se inicia realizando la clasificación de los equipos de limpieza según los criterios siguientes:

- Sistemas con o sin fricción.
- Equipos con abastecimiento de agua.
- Equipos manuales o automatizados.

Para cada caso mencionado anteriormente se tiene que evaluar las diferentes ventajas y desventajas que hay en equipo o sistema limpiador de paneles solares tal y como se definieron anteriormente Finalmente se analizarán sistemas de limpieza de paneles que aún no han sido presentados comercialmente, sin embargo, sirve de guía para un futuro. (UNIVERSIDAD DE SEVILLA).

1.6.2. Clasificación y análisis:

a. Equipo de limpieza con pértigas y agua:

a.1. Rozamiento de agua y manual:

Es un sistema muy utilizado en la limpieza de paneles solares, está basado en limpieza de paneles solares con botadores especiales para vidrio, cuenta con un pequeño equipo de bombeo de agua junto con mangueras comúnmente acoplados en un vehículo de desplazamiento, el agua es tratada por filtros de partículas y un sistema de descalcificación, cuyo objetivo es evitar la acumulación de cal que comúnmente almacena agua. Para aplicar el agua se hace mediante pértigas o botadores de fibra de carbono y poliéster, estas pértigas tienen una longitud necesaria, para poder limpiarlas, existen instalaciones de hasta tres filas de módulos, llegan hasta los 20 m de altura teniendo como nivel de referencia el suelo, no se recomienda una altura mayor porque las pértigas no serían fáciles de manejar como, como se muestra en la figura 1. Finalmente, si más larga es la pértiga, el operario de la misma debe tener más experiencia. En muchos casos, los fabricantes no permiten que se haga la limpieza a presión. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)



Figura 1. Limpiador con pértigas de fibra de carbono

Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).

La mayoría de empresas emplean colaboradores que realicen los mantenimientos de limpieza adecuados, utilizando en su mayoría agua.

Tabla 1. SISTEMA DE LIMPIEZA CON PÉRTIGAS Y AGUA.

SISTEMA DE LIMPIEZA CON PÉRTIGAS Y AGUA

Tipo: ROZAMIENTO - AGUA – MANUAL

El sistema es de bajo costo

Para poder operarlos no es necesario gozar de amplia experiencia.

Ventajas

Los parques pequeños son los adecuados para usar este sistema.
Es necesario capacitar al personal operario para su formación en este tipo de trabajos, así como los mantenimientos adecuados de la planta

La cantidad de agua empleada para estos trabajos es mayor.

El tiempo de operación es mayor, por recarga de agua, etc

Desventajas

La cantidad mínima de operarios es de dos personas.

Es difícil trabajar con grandes estructuras.

Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).

b. Equipo de limpieza agua a presión:

b.1. Tipo: Sin fricción y agua.

El vehículo que opera para esta limpieza cuenta con una cubeta de agua que contiene al menos 2 litros acompañado de una motobomba, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Vehículo con grupo motobomba para limpieza a presión

Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)

Este equipo operativo de limpieza es presentado en distintas versiones.

Para instalaciones fijas se utiliza un trabajador que es el encargado de controlar la pistola a presión, el otro conduce. Hay algunos modelos en donde el conductor del vehículo también es el encargado del manejo de la pistola de presión de agua limpiando los módulos solares. El sistema mantiene otra estética (más sofisticada) porque el extremo de la pistola es automatizado. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).

Para estructuras de mayor tamaño hay otro tipo o modelo de sistemas como por ejemplo el que presenta una caja elevadora en la que se encuentra un operario el cual manejará el equipo fácilmente y de forma eficiente. El sistema cuenta con un equipo de control al interior de la caja elevador que permite múltiples funciones, el agua es suministrada de un abastecedor instalado. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).



*Figura 3, Operarios de limpieza sobre plataformas elevadoras.
Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)*

Los elementos que componen básicamente a este equipo son los siguientes:

- Móvil de desplazamiento
- Cisterna de agua.
- Bomba de agua.
- Pistola de agua a presión acoplada al equipo o pistola de presión operada por trabajador.

SISTEMA DE LIMPIEZA AGUA A PRESION. Tipo: SIN FRICCIÓN - AGUA	
VENTAJAS	<p>El Sistema es más costoso a diferencia de otros equipos, es más económico si no cuenta con el control automatizado.</p> <p>Es óptimo para estructuras mayores en tamaño porque cuenta con dimensiones grandes.</p> <p>Si se logra homologar este vehículo para poder desplazarse fácilmente entonces trabajará adecuadamente en parques pequeños, sin embargo, encarecería la inversión</p> <p>Es necesario capacitar al personal operario para su formación en este tipo de trabajos, así como los mantenimientos adecuados de la planta.</p> <p>El agua consumida en el trabajo se puede aprovechar al máximo si es utilizada adecuadamente por el operario del sistema.</p> <p>El tiempo de operación es mayor, por recarga de agua, etc</p>
DESVENTAJAS	<p>Si no se sabe manejar adecuadamente el sistema en general, entonces habrá mayor gasto de agua.</p> <p>La cantidad mínima de operario es de dos personas</p> <p>A diferencia del anterior equipo, este necesita de una previa capacitación al personal operario.</p>
	<p>A diferencia de los sistemas automáticos, el porcentaje de averías de este sistema es mínimo.</p> <p>Funciona con combustible</p>

Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)

Se puede aprovechar el agua, pero en forma de vapor por lo que sería viable para reducir la cantidad total del agua que será consumida, pero el problema sería como llegar a producir este vapor ya que generaría otro costo adicional. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)



*Figura 4. Equipo de limpieza solar bright con vapor de agua
Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).*

c. Equipo rodillo con propulsor:

c.1. Tipo: fricción, agua y uso mecánico:

El equipo consiste en un móvil con propulsores que cuenta con rodillos que permitirán limpiar la superficie del panel solar con unas suaves cerdas que no dañarán el panel.

El trabajador se ubica en un lugar preciso para visualizar la instalación, se utiliza agua descalcificada que tiene como beneficio no acumular cal en el panel fotovoltaico. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).



Figura 5. Equipos de limpieza - autopropulsores fijas y seguimiento.
Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)

En la mayoría de las ocasiones esta limpieza se somete a un protocolo el cual se detalla de la siguiente manera:

Una previa limpieza inicia pulverizando con agua y detergente especial para paneles fotovoltaicos, el detergente no es muy necesario por más ecológico que sea eleva la cantidad de agua desperdiciándola innecesariamente.

d. Limpieza con rodillo de revoluciones:

Producto que permite el aclarado con agua tiene una lámina de pulverización. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012). Se necesita que los pasillos de limpieza sean de al menos tres metros para ejecutar una limpieza eficiente. Los elementos que componen este sistema son:

- Móvil de desplazamiento
- Cisterna de agua
- Bomba de agua

Se aplica también un tablero de control automático para manejar el fin de carrera del mecanismo.

e. Brazo monitoreado

El extremo está compuesto por un rodillo, en secador y una hilera de pulverización
UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).



Figura 6. Limpieza de paneles
Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)

Este equipo de limpieza es muy adecuado para los paneles solares, a continuación, se detallan con mejor claridad en la *Tabla 3*.

Tabla 3.SISTEMA RODILLO AUTOPROPULSADO:

EQUIPO DE RODILLO AUTOPROPULSADO: Tipo: FRICCIÓN - AGUA – CONTROL MECÁNICO	
VENTAJAS	<p>El Sistema es más costoso a diferencia de otros equipos, es más económico si no cuenta con el control automatizado.</p> <p>Es óptimo para estructuras mayores en tamaño porque cuenta con dimensiones grandes.</p> <p>Si se logra homologar este vehículo para poder desplazarse fácilmente entonces trabajará adecuadamente en parques pequeños, sin embargo, encarecería la inversión</p> <p>Es necesario capacitar al personal operario para su formación en este tipo de trabajos, así como los mantenimientos adecuados de la planta</p> <p>Se aprovecha el agua en toda la operación</p> <p>Se optimiza el tiempo de abastecimiento de agua y trayectoria del equipo</p> <p>Para ejecutar esta operación sólo se necesita un trabajador</p>
DESVENTAJAS	<p>Se requiere agua de tipo descalcificada para no averiar los pulverizadores.</p> <p>Se requiere de una previa capacitación al personal operario para ejecutar las distintas funciones del sistema.</p> <p>La posibilidad de averías es mucho mayor en este caso</p> <p>Se requiere de combustible para poner en marcha el equipo</p> <p>Puede haber dificultades en algunos accesos y maniobras en instalaciones complicadas, por lo que el diseño de estos sistemas en poco ergonómico para instalaciones sobre cubierta a diferencia de las instalaciones de suelo.</p> <p>Se necesita incluir tableros automáticos para el control</p>

Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)

f. Equipos de limpieza instalados mecánicos y automáticos:

Son los más comunes en instalaciones de paneles fotovoltaicos en su propia estructura de sujeción, sin embargo, a continuación, se menciona una pequeña clasificación.

f.1. Equipos de fricción:

Este equipo está compuesto por un rodillo de nylon con una longitud mínima de 6.6 m y 10 m de máxima longitud, cuando opera este equipo recorre toda la cavidad superior del panel solar, teniendo como máxima distancia recorrida de 100 m, sin embargo, se puede acoplar para que recorra mayores distancias. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)



*Figura 7. Sistema de auto limpieza.
Fuente UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)*

Lo interesante de este equipo es que se adapta a sistemas estáticos o con seguimiento, incluye un sensor de electrónico de lluvia que se puede regular, así como un sistema de programación para ajuste en todo tipo de limpieza de acuerdo a la necesidad. Entre las características más importantes tenemos:

- Revoluciones de giro: 140 RPM

- Velocidad de desplazamiento: 10 m/min
- Potencia total de suministro motor: 360W.
- La fuente de alimentación es por medio de baterías
- La Tensión máxima para el equipo es de 220V
- Lo elementos metálicos que lo componen son galvanizados
- Su ensamble es sencillo por sujeción directa.

Los rodillos de limpieza tienen gran libertad de desplazamiento, incluye el sensor captador de lluvia, aunque no funciona cuando se trabaja con agua.

f.2. Sin Fricción con Agua.

Este equipo tiene cierta similitud con el anterior porque también van acoplados en los paneles solares necesitando railes para su desplazamiento, en un extremo de este modelo se salen varios pulverizadores desplazándose longitudinalmente para llevar el agua a presión. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).

Tabla 4. SISTEMA DE LIMPIEZA MECANIZADOS AUTOMATICOS.

EQUIPOS INSTALADOS DE LIMPIEZA DE USO MECÁNICO_ AUTOMATICO Tipo: INSTALADOS-MECANICO_ AUTOMATICOS CON O SIN ABASTEIMIENTO DE AGUA	
VENTAJAS	Es muy útil para instalaciones de poco acceso. No requiere móvil y que está acoplado. No se necesita de trabajadores que limpien los paneles Se aprovecha al máximo el agua. Se optimiza el tiempo en abastecimiento de agua y trayecto del equipo
DESVENTAJAS	Existen mayores posibilidades de que el sistema se avería. Costo elevado. En una planta grande de paneles solares se necesitaría muchos equipos de limpieza lo cual no es conveniente por su costo No se acoplaría fácilmente. Si se trabaja con el método “Con agua”, se requiere elevadas cantidades de abastecimiento. Se requieren baterías para su carga eléctrica

Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)

g. Equipo de aire comprimido:

g.1. Tipo: Sin fricción y sin agua:

Uno de los componentes principales de este equipo es que cuenta con una pistola de compresión de aire que a su vez está conectada a una manguera y una compresora. La presión

de aire está calibrada para remover toda la suciedad del panel, esta presión varia de 3 a 5 bares, lo llamativo de este equipo es que no requiere de agua ni de otro tipo de aditivo. Existen dos tipos:

h. TIPO MANUAL:

El operario recorre la planta solar caminando y llevando consigo el compresor el cual puede estar en el suelo, o en un móvil; también puede ser llevado en la espalda

i. TIPO MECANIZADO:

Para este modelo el equipo y el operario va en un móvil, de ese modo el limpiador va trabajando y desplazándose en los paneles solares, activando las pistolas de presión.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)



*Figura 8. Compresor acoplado a pistola de presión.
Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)*

Tabla 5.SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.

EQUIPO DE AIRE COMPRIMIDO Tipo: SIN FRICCIÓN-SIN AGUA	
VENTAJAS	<p>Este modelo es más barato que los anteriores si es que escogemos el de tipo manual, a diferencia del sistema mecanizado que es más costoso, pero más económico que el sistema de agua y rodillos.</p> <p>No requiere vehículo en el modelo manual.</p> <p>No se requiere experiencia</p> <p>No se requiere agua</p> <p>Optimización de tiempo en recarga de agua</p> <p>Es preciso para pequeñas plantas solares capacitado a personas cercanas a la zona para que hagan los servicios de operación, mantenimiento y manejos de ensamble.</p> <p>Un solo operario en el trabajo</p> <p>El equipo manual es adecuado en zonas donde el panel tiene poco acceso para su limpieza.</p> <p>Si se logra homologar el desplazamiento del equipo mecanizado en vías comunes de transporte, pero generaría costos adicionales.</p>
DESVENTAJAS	<p>Si se logra homologar el desplazamiento del equipo mecanizado en vías comunes de transporte, pero generaría costos adicionales.</p> <p>No es adecuado para estructuras de gran tamaño, sin embargo, el equipo mecanizado si es eficiente.</p> <p>Necesita energía eléctrica para poder funcionar.</p> <p>No es tan eficiente a comparación de los casos que utilizan agua u otros aditivos.</p> <p>Depende de la habilidad del trabajador.</p> <p>EL sistema mecanizado consume combustible a comparación del manual que no lo requiere.</p> <p>En el equipo de tipo mecanizado está diseñado sello para ciertos modelos de instalaciones de paneles solares.</p>

Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).

A continuación, se estudia en los sistemas generales de limpieza en paneles solares sobre cubierta, se analiza la importancia que tendrá a corto plazo respecto a la cantidad de instalaciones y de potencia de trabajo.

En España, la mayor parte de los equipos instalados sobre cubierta no incluyen sistemas de limpieza asistidos, inclusive no hay un planeamiento de limpieza por parte de las empresas, es decir del mantenimiento preventivo que se debe realizar. Es por ello que se necesita un énfasis de estudio para en instalaciones de pequeñas plantas solares en sobre cubierta. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)

j. Equipo de mediante robot:

Se propone utilizar robots de control automatizado que realicen operaciones de limpieza en los paneles solares, pero que trabajen con una inclinación que no supere los 45 grados. Deben tener una similitud con los robots que sirven para limpiar piscinas. Con esta propuesta de prototipo se mejoraría sobremanera la limpieza de módulos solares en sobrecubierta, las cuales no son fáciles de limpiar por el reducido acceso. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)



Figura 9. Robot para limpieza de módulos
Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).

k. Equipo de limpieza aprovechando la humedad del ambiente:

El equipo de limpieza aprovecha la humedad del ambiente, utilizando también absorción propia de la humedad con la aplicación de sustancias delicuescentes. El robot será diseñado para limpiar los paneles solares sin necesidad de intervención de otros operarios (trabajadores) y también será utilizado solo en lugares donde el clima presenta alta humedad. El equipo absorberá la humedad de la zona por un periodo regular, siendo utilizada esta para luego ser filtrada y limpiar el panel solar, tal y como se muestra en la figura 10. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012).

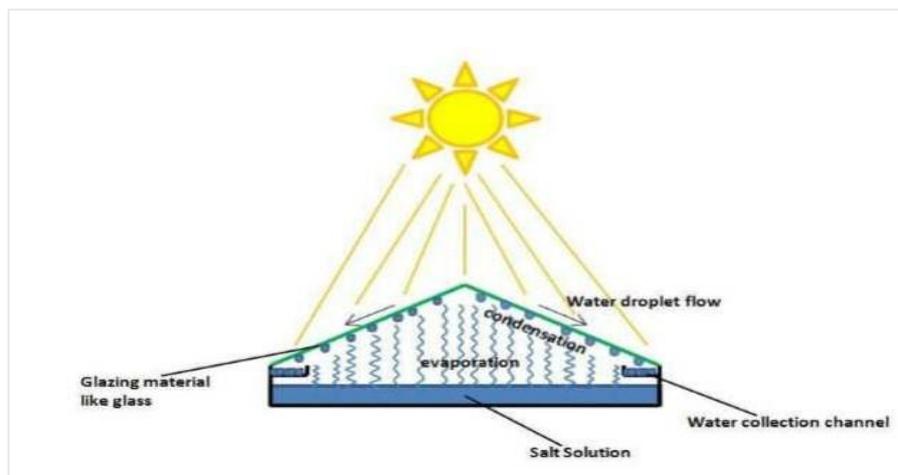


Figura 10. Esquema principio funcionamiento.
Fuente: UNIVERSIDAD DE SEVILLA (2012)

La delicuescencia, es una secuencia por la cual el material que lo contiene absorbe relativamente la humedad atmosférica formando una sustancia. Comúnmente cuando la humedad atmosférica es igual o superior que la CRH (humedad crítica relativa) de cualquier material, éste absorbe produciendo agua saturada.

La nueva sustancia obtenida debe filtrarse antes de ser utilizada para limpiar los módulos solares, por otro lado, se puede evaporar esta sustancia con ayuda de la radiación solar usando una cámara especial. Al calentarse esta sustancia producirá vapor de agua condensándose en una superficie fría la cual finalmente formará gotas de agua; estas gotas se utilizan una vez recogidas para poder limpiar los paneles solares. Una vez acabado este proceso la solución delicuescente se puede reutilizar. En la figura 11 se presenta un modelo de prototipo que propone NCPRE (**National Centre for Photovoltaic Research and Education**).

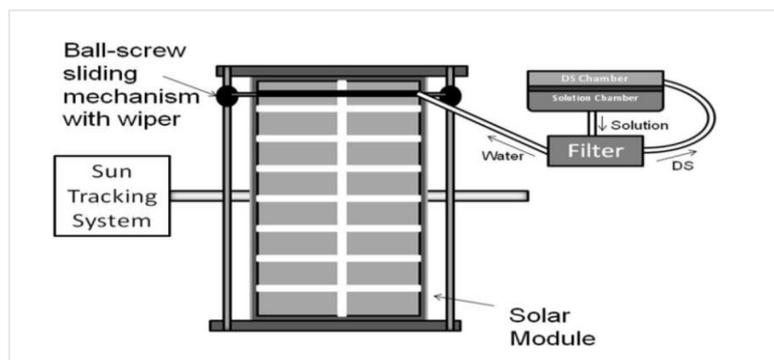


Figura 11. Prototipo presentado por NCPRE
Fuente: (National Centre for Photovoltaic Research and Education).

Este modelo está compuesto por una cámara en forma de pirámide que filtrará la solución. Es fundamental mencionar que la inclinación juega un papel importante por ser el ángulo de acristalamiento teniendo como nivel de referencia la superficie horizontal. Los módulos solares son ensamblados con normalidad en marcos fijos o móviles con los equipos de seguimiento al sol. **NCPRE (2010)**

La gravedad ayuda en la limpieza de los paneles solares, pero para ello se requiere tomar en cuenta el grado de inclinación que tengan estos. De la misma manera se podría instalar un equipo limpiaparabrisas en los módulos solares. **NCPRE (2010)**

1. Tecnología Heliotex

Heliotex es un sistema de limpieza automático que lava y enjuaga las superficies de los paneles solares. El sistema de limpieza se puede programar siempre que sea necesario, dependiendo del entorno. No requiere más atención, excepto el reemplazo de los filtros de agua y el relleno ocasional del jabón concentrado. Contiene un depósito de cinco galones para jabón, que no causa ningún daño a los paneles solares ni a los materiales del techo (**Heliotex, 2013**).

El sistema Heliotex extrae el agua de la residencia a través de una manguera o tubería conectada a la bomba y conectada a las boquillas en la superficie del panel solar sin causar fricción. El sistema Heliotex se puede instalar para cualquier tamaño o número de paneles solares. El costo de instalación del Heliotex es de US \$ 2,258.00 para cubrir 50 paneles fotovoltaicos (**Conduit, 2014**).



Figura 12. Tecnología Heliotex que utiliza agua y jabón
Fuente: (Heliotex, 2013).

Tabla 6. TECNOLOGIA DE LIMPIEZA HELIOTEX.

TECNOLOGIA DE LIMPIEZA HELIOTEX	
VENTAJAS	<p>Bueno para áreas con acceso rápido al agua.</p> <p>Mejora la efectividad de los paneles fotovoltaicos después de ser lavados casi en un 100%.</p> <p>El sistema de limpieza Heliotex es confiable (garantizado por 10 años).</p>
DESVENTAJAS	<p>Equipo costoso como el jabón, las mangueras y las bombas que se requieren.</p> <p>Requiere acceso rápido a mucha agua.</p> <p>Necesita una comprobación periódica de la acumulación de residuos de agua y jabón.</p> <p>El jabón puede afectar el ambiente de las plantas. (Heliotex, 2013).</p>

Fuente: Tecnologías de limpieza Heliotex (2013).

m. Limpieza electrostática:

La tecnología de limpieza electrostática se llama "Cosecha de electricidad". Esta tecnología de limpieza fue desarrollada por primera vez por científicos para resolver el problema de los depósitos de polvo en las superficies de PV ubicadas en Marte. Esta tecnología también se puede usar en áreas polvorosas y secas de la Tierra. El material de carga electrostática se usa en una lámina de plástico transparente o vidrio que cubre los paneles solares. Los sensores monitorean los niveles de polvo y activan el sistema en modo de limpieza **(Jalbuena, 2010)**.

El polvo se sacude de los paneles solares cuando una onda cargada eléctricamente se rompe sobre el material de la superficie. Esta no es una forma segura para los propietarios de viviendas que usan paneles solares porque los paneles se sacuden, lo que puede aflojar su conexión al techo y podrían caerse y causar lesiones. Sin embargo, es una solución efectiva para sistemas más grandes en otros lugares. La estructura de los paneles es fuerte y flexible para evitar roturas que pueden ser causadas por sacudidas, como se muestra en la Figura 13 **(Jalbuena, 2010)**.

En dos minutos, este sistema puede eliminar hasta el 90% del polvo de las superficies de los paneles fotovoltaicos mediante el envío de una onda de disuasión de polvo eléctrica que hace que el polvo se caiga al suelo. **(Jalbuena, 2010)**.

Sin embargo, este sistema no eliminará el polvo cuando se moje, o si está en un ambiente húmedo. El movimiento del mecanismo de la ola requiere solo una pequeña cantidad de electricidad que la convierte en un sistema eficiente de energía, sin embargo, en la actualidad; el uso mundial del sistema de recolección es solo del 4% **(Jalbuena, 2010)**



*Figura 13. Estructura del sistema PV que utiliza limpieza electrostática
Fuente: (Jal buena, 2010).*

n. El robot limpiador PV V1

El sistema V1 robotizado fue diseñado para limpiar la superficie de los paneles fotovoltaicos automáticamente para maximizar la producción de energía. El robot V1 es compuesto de un cabezal de limpieza y un sistema de accionamiento. El cabezal de limpieza tiene dos cepillos cilíndricos que viajan hacia arriba y hacia abajo a lo largo de los bordes de la superficie del panel un par de carros motorizados para generar un panel fotovoltaico limpio. Un cable de guía está conectado a cada carro de manejo para controlar el movimiento del cabezal de limpieza y evitar la rotación no deseada (**Anderson, 2012**).



*Figura 14. Desplazamiento del robot V1.0 a lo largo de paneles
Fuente: (Anderson, 2012).*

El sistema de accionamiento consta de tres componentes principales de movimiento:

Los carros superior e inferior y el cabezal de limpieza. Los carros superior e inferior usan un motor de 12 VCC para proporcionar movimiento al sistema de limpieza. La parte superior e inferior se pueden controlar de forma independiente a lo largo de las filas del panel. Los sensores Contrinex 500 M30 ubicados en el bastidor del carro detectan los bordes del panel, dando un comando al sistema de control para disminuir o detener el movimiento cuando el carro llega al final de la matriz del panel. Las ruedas motrices de cada carro están compuestas por dos pares. Cada par está vinculado a través de una cadena. Las ruedas se diseñaron de dos en dos para evitar caídas cuando se cruzan huecos entre dos paneles (Anderson, 2012).

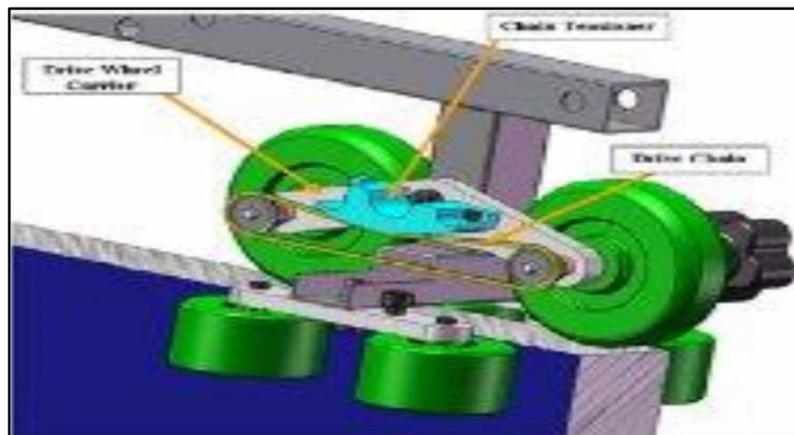
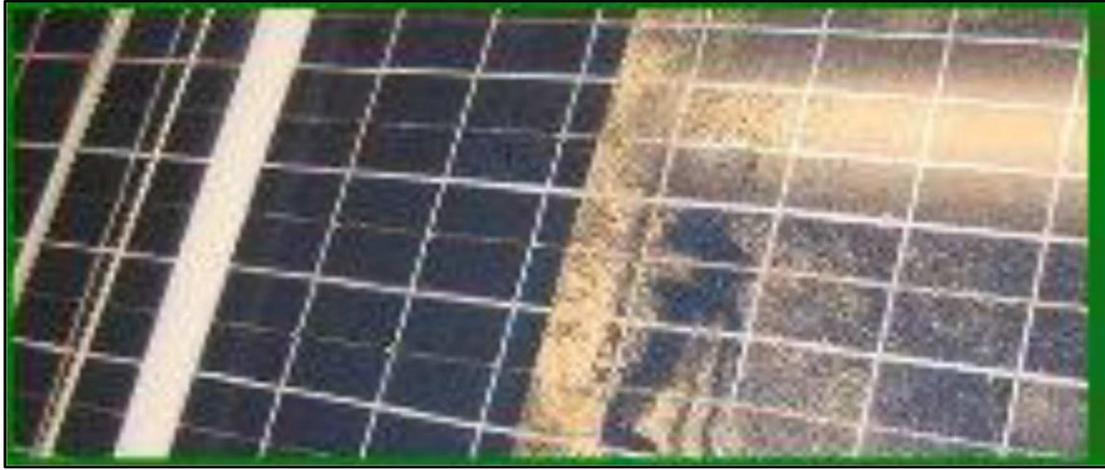


Figura 15, Rueda motriz emparejada a través de una cadena.
Fuente: (Anderson, 2012)

El sistema de robot de limpieza V1 se probó inicialmente en una pasada de limpieza a una velocidad de $2,33 \text{ m}^2/\text{min}$. Los resultados del pase de limpieza se pueden ver en la Figura, que muestra un lado de un panel sucio (como se ve en el lado izquierdo), mientras que el lado derecho permaneció como estaba para resaltar la diferencia, como se muestra en la figura 16 (Anderson, 2012).



*Figura 16.El sistema de robot de limpieza VI
Fuente (Anderson, 2012)*

o. El Robot SunBrush.

SunBrush es un robot de limpieza fijo similar, diseñado principalmente para limpiar nieve de paneles fotovoltaicos. Es un sistema de limpieza totalmente automatizado para los paneles fotovoltaicos. Este robot de limpieza fue producido en Alemania para eliminar la nieve de las superficies de energía solar. El principal uso fue en los sistemas de calefacción solar, ya que la eliminación de la nieve acumulada redujo la cantidad de luz solar que ingresa a los paneles, lo que afectó la cantidad de agua caliente producida. El uso de este sistema ha llevado a un aumento del 15-18% en la eficiencia del panel solar y un aumento de hasta un 20% en la producción de agua caliente. La estructura de SunBrush es simple. Se fija al techo y está compuesto por un cepillo impulsado por un pequeño motor a través de un rodillo, como se



muestra en (Siemens, 2013).

*Figura 17.Sun Brush limpieza automática completa sobre paneles solares.
Fuente: (Siemens, 2013).*

1.6.3. Diseño de robot:

a. Cálculo de ejes.

No necesitamos evaluar todos los esfuerzos en los diferentes puntos del eje; solo necesitamos ubicar unos cuantos puntos donde presenten los mayores esfuerzos para realizar el estudio. Por lo tanto, podemos decir que se puede localizar en la parte exterior del eje, en ubicaciones axiales donde el momento flexionante es grande, donde el par de torsión está presente y donde existen concentraciones de esfuerzo. Se logra hacer una comparación en los diferentes puntos del eje para poder identificar ubicaciones críticas en donde se puede basar en el diseño. Con esto se logra también evaluar situaciones de esfuerzo típicas.

Los ejes son una pieza fundamental que se encarga en transmitir el par torsor. Los cálculos para los momentos flexionantes sobre un eje se puede determinar mediante los diagramas de cortante y momentos flexionantes. Los problemas que mayor presentan los ejes es que van acoplados a engranajes y poleas que muestran fuerzas en dos planos, por lo tanto, podemos decir que los diagramas de momento cortante y flexiónate deberán ser en dos planos. Para la operación de los momentos resultantes se suma los momentos como vectores en los puntos que se desea analizar en el eje. Se desprecia el ángulo de fase de los momentos ya que no es importante porque el eje está en un constante giro.

Los momentos flexionantes constantes llega a producir momentos completamente reversibles sobre el eje de giro, se sabe que los elementos de esfuerzo específico se alteran de compresión a tensión en cada revolución del eje. Con esto se puede decir que el esfuerzo normal debido a los momentos flexionaste será mayor sobre la superficie exterior. Por ejemplo, cuando un cojinete se encuentra en el extremo del eje, se puede decir que los esfuerzos cerca del cojinete no son críticos ya que el momento flexiónate es muy pequeño.

Frecuentemente son constantes, por lo que se puede decir que aporta muy poco a la fatiga. Por lo tanto, en lo general se acepta despreciar los esfuerzos axiales inducidos por los engranajes y cojinetes cuando presenta flexión en el eje. Si se llega aplica una carga axial sobre el eje de alguna manera, no se puede suponer que es despreciable sin verificar las magnitudes. SIGLEY (2008).

Se calcularán los esfuerzos a los que está sujeto el eje, fuerzas de flexión y de

torsión, que se llega expresar en las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_s = \frac{32M}{\pi d^3} \dots \dots \dots Ec. (1)$$

$$\tau_{sv} = \frac{16T}{\pi d^3} \dots \dots \dots Ec. (2)$$

$$\sigma^u = \sqrt{J\sigma_s^2 + 3V^2\tau_{sv}} \dots \dots \dots Ec. (3)$$

Donde:

σ_s : Esfuerzo por flexión

(MPa) τ_{sv} : Esfuerzo por

torsión (MPa) d : Diámetro

del eje (mm)

M : Momento flector Máximo (N.mm).

T : Momento Torsor en la sección crítica (N.mm).

De la teoría de la energía de distorsión (Von Mises), se tiene que:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma^u} \dots \dots \dots Ec. (4)$$

Donde

S_y : Resistencia a la fluencia (MPa)

FS : Factor seguridad (Adimensional)

b. Diseño de eje a Fatiga.

Las diferentes cargas de flexión, torsión o axiales llegan a estar presentes en componentes medios como en alternantes. Para su evaluación, es suficiente combinar los diferentes tipos de esfuerzos de von Mises alternantes y medios. Es necesario llegar a adaptar a nuestra

conveniencia las ecuaciones específicamente para aplicarlas en los ejes. Podemos decir que las cargas axiales en comparación a su ubicación de los puntos críticos donde dominan la flexión y la torsión son muy pequeñas, por lo tanto, se puede dejar de las siguientes ecuaciones. Los esfuerzos fluctuantes debidos a la flexión y la torsión están dados por e M_m y M_a son los momentos flexionantes medio y alternante, T_m y T_a son los pares de torsión medio y alternante, y K_f y K_{fs} son los factores de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión y la torsión, respectivamente.

Para la fabricación de un eje sólido con sección transversal redonda, se puede incluir términos geométricos propiamente apropiados para c , I y J , lo que resulta en:

$$O_a = K_f \frac{M_a C}{I} \dots \dots \dots Ec. (5)$$

$$O_m = K_f \frac{M_m C}{I} \dots \dots \dots Ec. (6)$$

$$V_a = K_{fc} \frac{I_a C}{J} \dots \dots \dots Ec. (7)$$

$$V_m = K_{fc} \frac{I_m C}{J} \dots \dots \dots Ec. (8)$$

$$O_a = K_f \frac{32M_a}{nd^3} \dots \dots \dots Ec. (9)$$

$$O_m = K_f \frac{32M_m}{Ind^3} \dots \dots \dots Ec. (10)$$

$$V_a = K_{fc} \frac{16I_a}{nd^3} \dots \dots Ec. (11)$$

$$V_m = K_{fc} \frac{16T_m}{nd^3} \dots \dots Ec. (12)$$

Para ello se llega a utilizar la ecuación de Marín, donde se determina con la siguiente expresión:

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S^U e \dots \dots Ec. (13)$$

Donde

k_a : Factor de modificación de la condición superficial.

k_b : Factor de modificación del tamaño.

k_c : Factor de modificación de la carga.

k_d : Factor de modificación de la temperatura.

k_e : Factor de confiabilidad

k_f : Factor de modificación de efectos varios.

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de maquina en la geometría y condición de uso.

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Cuando no se dispone de ensayos de resistencia a la fatiga de partes, los resultados se obtienen aplicando los factores de Marin al límite de resistencia a la fatiga.

Además, el límite de la resistencia a la fatiga, factor de modificación de la condición superficial y del tamaño se calcula aplicando las siguientes expresiones:

$$0.5 S_{ut} \quad S_{ut} \leq 200Kpsi (1400 Mpa) \dots Ec. (14)$$

$$S^U_e = \begin{cases} 100Kpsi & S_{ut} \leq 200Kpsi \\ 700 Mpa & S_{ut} \leq 200Kpsi \end{cases} \dots \dots Ec. (14)$$

$$K_a = a S_{ut}^b \dots \dots Ec. (15)$$

$$K_b = 1.24 d^{-0.107} \dots \dots Ec. (16)$$

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases} \dots \dots Ec. (17)$$

$$K_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})T_F - 0.115(10^{-5})T_F^2 + 0.104(10^{-8})T_F^3 - 0.595(10^{-12})T_F^4 \dots \dots Ec(18)$$

$$70 \leq T_F \leq 1000^\circ F$$

$$K_e = 1 - 0.08Z_a \dots \dots Ec. (19)$$

Otro el factor importante que se debe determinar cuándo se realiza un estudio de fatiga es la concentración del esfuerzo y sensibilidad a la muesca (q), para ello se emplea la siguiente expresión:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \dots \dots Ec. (20)$$

$$K_{fc} = 1 + q_{cortante}(K_{tc} - 1) \dots \dots Ec. (21)$$

$K_f = 1$. Para caso de ejes uniformes, es decir, no ranurados, huecos, etc. Factor de seguridad utilizando el criterio de ED-Asme elíptica es igual:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{nd^3} \left[4 \left(\frac{K_f M_a^2}{S_e} \right) + 3 \left(\frac{K_{fc} T_a^2}{S_e} \right) + 4 \left(\frac{K_{fc} M_n^2}{S_y} \right) + \left(\frac{K_{fc} I_m^{1/2}}{S_y} \right) \right] \dots \dots Ec. (22)$$

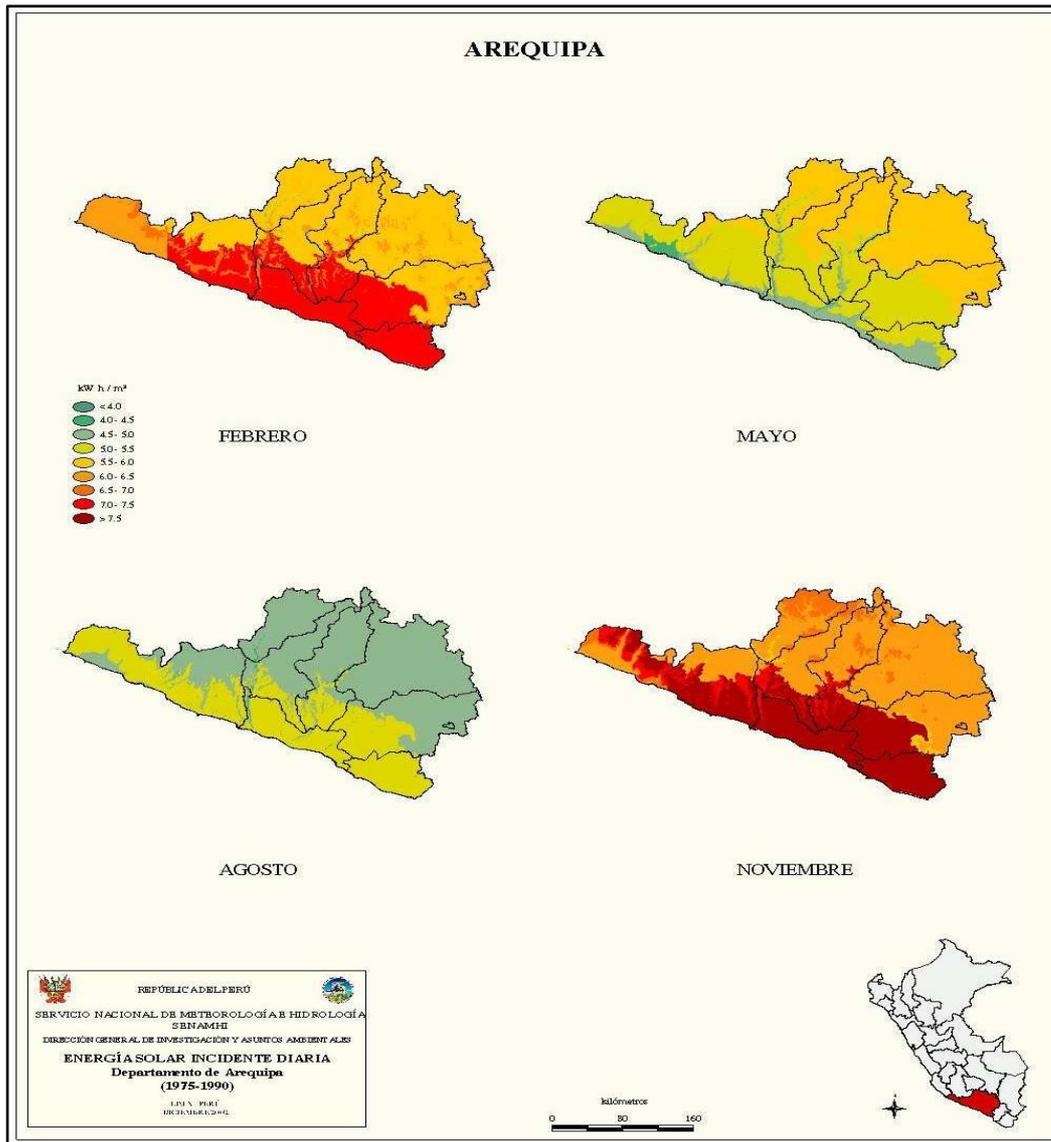
c. Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Para el ensayo de laboratorio de la muestra en una maquina rotatoria para poder determinar los diferentes límites de resistencia a la fatiga se adecua con mucho cuidado y se ensaya bajo condiciones muy controladas. No es factible esperar que el límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico o estructural iguale los valores que se obtuvieron en el laboratorio. Algunas diferencias incluyen:

- Material: es un elemento que se puede transformar presenta una variabilidad de composición.
- Manufactura: proceso a que está sometido la pieza a trabajar.
- Entorno: corrosión, temperatura, estado de esfuerzos, tiempos de relajación.
- Diseño: dimensionamiento y más características que cumple un elemento que se requiere para cumplir una función Sigley(2008)

1.6.4. El cálculo de la irradiación solar:

La radiación dada en la fórmula es la radiación que cae sobre el panel solar fotovoltaico, esto no es lo mismo que la radiación total que cae sobre una superficie horizontal. El valor de la radiación horizontal debe corregirse con un factor de orientación e inclinación. Si la radiación solar y la demanda de electricidad no varían mucho (en muchos de los casos) este método sencillo funciona bien. Si la radiación solar fluctúa fuertemente de estación en estación debe usarse un método diferente. En primer lugar, el ángulo de inclinación puede hacerse mayor en 15° a la latitud para nivelar las fluctuaciones estacionarias (esto se llama optimización de invierno). En segundo lugar, la salida del sistema solar puede calcularse para cada mes en lugar de una vez. Si se hace esto, se puede tener una mejor aproximación de la demanda de electricidad.



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología.

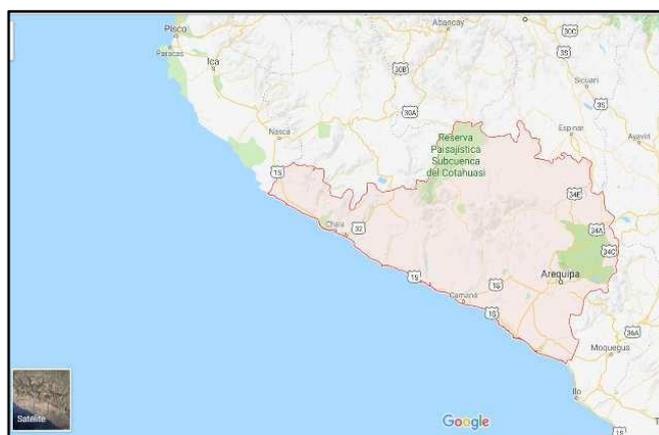
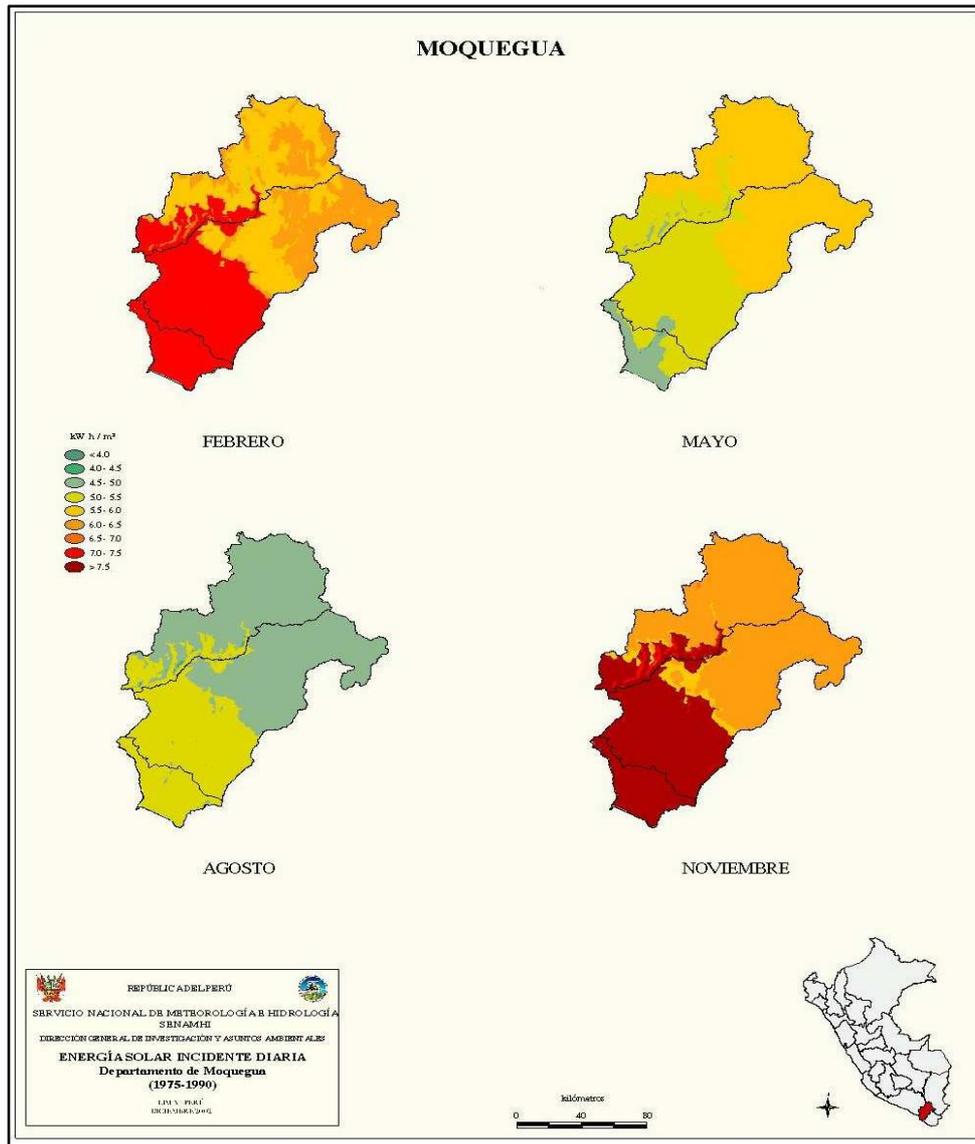


Figura 18. Mapa de la Región Arequipa.



*Figura 19. Mapa De La Región Moquegua.
Fuente: Servicio Nacional de Metereologia.*

Tabla 7. IRRADIACIÓN EN DEPARTAMENTOS - ZONA SUR DEL PERÚ

Irradiación de los departamentos de la zona sur del Perú según meses del año con respecto Kw h/m3				
	febrero	mayo	agosto	noviembre
Arequipa	7.0-7.5	5.0-5.5	5.0-5.5	7.5
Moquegua	7.0-7.5	5.0-5.5	5.0-5.5	7.5
Tacna	7.0-7.5	5.0-5.5	5.0-5.5	7.5

Categoría de radiación	Intervalo de Valores kw h/m3
Baja	4.0-
	4.0-4.5
Moderada	4.5-5.0
	5.0-5.5
	5.5-6.0
Alta	6.0-6.5
	6.5-7.0
	7.0-7.5
Muy Alta	7.5

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología

a. Cálculo de Radiación:

La radiación global (Radiación tot) se efectúa con la suma de la radiación directa (Dirtot) y difusa (Diftot) en todos los sectores del mapa solar y mapa del cielo, respectivamente

$$\text{Radiación tot} = \text{Dir tot} + \text{Dif tot}$$

b. La radiación solar directa:

Para calcular la insolación directa total (Dirtot) se tiene la ubicación dada es la suma de la insolación directa (Dir θ , α) de todos los sectores del mapa solar:

$$Dirtot = \sum Dir\theta, \alpha \dots (23)$$

Para poder calcular la insolación directa del sector del mapa solar (Dir θ , α) con un centroide en los ángulos cénit (θ) y el ángulo acimutal (α) se hace uso la siguiente ecuación:

$$Dir\theta\alpha = SConst * \beta m(\theta) * SunDur\theta, \alpha * SunGap\theta, \alpha * \cos(AngIn\theta, \alpha) \dots (24)$$

Donde:

- SConst: la constante solar es el flujo solar fuera de la atmósfera en el valor medio de la tierra, la distancia del sol. Tiene como valor para su análisis de 1.367 W/m². Esta coincide con la constante solar del Centro Mundial de Radiación (World Radiation Centre, WRC).
- β : es el promedio de todas las longitudes de onda, para la ruta más corta (en dirección al cénit).
- $m(\theta)$: es la longitud de ruta óptica relativa que se mide como una proporción en relación con la longitud de ruta del cénit.
- SunDur θ, α : duración del tiempo representada por el sector del cielo. Para la mayoría de los sectores, es igual al intervalo diario (por ejemplo, un mes) multiplicado por el intervalo horario (por ejemplo, media hora). Para los sectores parciales (cercanos al horizonte), la duración se calcula mediante la geometría esférica.
- SunGap θ, α : fracción del espacio para el sector del mapa solar.
- AngIn θ, α : ángulo de incidencia entre el centroide del sector del cielo y el eje normal para la superficie (vea la ecuación 4 más adelante).

Por lo tanto, la longitud óptica relativa, $m(\theta)$, se logra calcular por el ángulo cénit del sol y elevación sobre el nivel del mar. Por otra parte, para los ángulos cénit menores que 80°, se llega a utilizar la siguiente ecuación:

$$m(\theta) = \text{EXP}(-0.000118 * \text{Elev} - 1.638 * 10^{-9} * \text{Elev}^2) / \cos(\theta) \dots (25)$$

Donde:

- θ : corresponde al ángulo cénit del sol.
- Elev: elevación sobre el nivel del mar, en metros.

Se estima los efectos de la orientación de la superficie al multiplicarlo por el coseno del ángulo de incidencia. El ángulo de incidencia ($\text{AngInSky}\theta, \alpha$) entre la superficie interceptora y un sector de cielo determinado con un centroide en los ángulos cénit y acimutal para su respectivo cálculo se hará uso de la siguiente ecuación:

$$\text{AngIn}\theta, \alpha = \text{acos}(\text{Cos}(\theta) * \text{Cos}(\text{Gz}) + \text{Sin}(\theta) * \text{Sin}(\text{Gz}) * \text{Cos}(\alpha - \text{Ga})) \quad (26)$$

Donde:

- Gz: ángulo cénit de la superficie.
- Se debe tener en cuenta que la refracción es muy importante para los ángulos cénit que sobrepasa a los 80° .
- Ga: ángulo acimutal de la superficie.

c. Cálculo de la radiación difusa:

Se cree conveniente que, para cada espacio del cielo, se debe calcular la radiación difusa en su centroide (Dif), con esto se le integra al intervalo de tiempo para luego corregirlo con la fracción de espacio y el ángulo de incidencia haciendo uso la siguiente ecuación:

$$\text{Dif}\theta, \alpha = \text{Rglb} * \text{Pdf} * \text{Dur} * \text{SkyGap}\theta, \alpha * \text{Weight}\theta, \alpha * \text{cos}(\text{AngIn}\theta, \alpha) \dots (27)$$

Donde:

- Rglb: radiación global normal (vea la ecuación 6 más adelante).
- Pdf: es la proporción del flujo de radiación global normal difundido. Por lo general, es aproximadamente de 0,2 para condiciones de cielo muy claro y de 0,7 para condiciones de cielo muy nublado.
- Dur: es el espacio del tiempo para el análisis.

- SkyGap θ, α : es la sección del espacio (es una parte visible del cielo) para el sector del cielo.
- Peso θ, α : es la sección de radiación difusa que se origina en un determinado sector del cielo relacionada con todos los sectores (vea las ecuaciones 7 y 8 más adelante).
- AngIn θ, α : el ángulo de incidencia entre el centroide del sector del cielo y la superficie interceptora.

d. La radiación global normal (Rglb):

Se logra efectuar el cálculo mediante la suma de la radiación directa de cada sector (incluidos los sectores obstruidos) sin la corrección para el ángulo de incidencia, y la siguiente corrección para la proporción de la radiación directa, lo que equivale a 1-Pdif:

$$\mathbf{Rglb} = (\mathbf{SConst} \Sigma(\beta_m(\theta))) / (\mathbf{1} - \mathbf{Pdif}) \quad (28)$$

Para el modelo difuso de cielo uniforme, Peso θ, α se puede llegar a calcular de la siguiente manera:

$$\mathbf{Weight}_{\theta, \alpha} = (\mathbf{cos}\theta_2 - \mathbf{cos}\theta_1) / \mathbf{Divazi} \quad (29)$$

Donde:

- θ_1 y θ_2 : son los ángulos cénit de delimitación del sector del cielo.
- Divazi: es el número de divisiones acimutales en el mapa del cielo.

Para el modelo de cielo cubierto estándar, Peso θ, α se calcula de la siguiente manera:

$$\mathbf{Weight}_{\theta, \alpha} = (\mathbf{2cos}\theta_2 + \mathbf{cos}^2\theta_2 - \mathbf{2cos}\theta_1 - \mathbf{cos}^2\theta_1) / \mathbf{4} * \mathbf{Divazi} \quad (30)$$

La radiación solar difusa total para la ubicación (Diftot) se calcula como la suma de la radiación solar difusa (Dif) de todos los sectores del mapa del cielo:

$$\text{Diftot} = \Sigma \text{Dif}\theta, \alpha \quad (31)$$

e. Cálculo de poleas

Los sistemas de las poleas en v permitirán el desplazamiento mínimo para un montaje óptimo de los ejes. La distancia que se presenta entre los centros debe reducirse para una fácil instalación sin llegar a maltratar las correas. También se debe de considerar de importante la distancia entre centros debe poder alejarse más para poder regular la tención deseada de las correas.

Para una buena elección del sistema de transmisión de una potencia optima que se genera entre las poleas se tomara en cuenta la relación de revoluciones y los diámetros adecuados para cumplir con las especificaciones requeridas. Para ello se usará la siguiente ecuación:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1} = j \dots \dots \text{Ec. (32)}$$

Donde:

j: relación de transmisión

N₁: velocidad de giro del eje conductor (rpm) N₂: velocidad de giro del eje conducido (rpm).

D₁: Diámetro de la polea menor

D₂: Diámetro de la polea mayor

f. Selección de rodamientos

Para una óptima seleccionar de los rodamientos que llegan a estar se sometidos a fuerzas radiales, se elegirá dependiendo del diámetro del eje calculado y de la carga dinámica a la que estará sometida el rodamiento, se hará uso de la siguiente fórmula:

$$C = P_d \left(\frac{L_{10h} * 60 * n}{10^6} \right)^{\frac{1}{P}} \dots \dots \text{Ec. (33)}$$

Donde:

P_d : Fuerza que actúa sobre el rodamiento (N)

L_{10h} : horas de servicio (h)

n: revoluciones del rodamiento (rpm)

p: exponente de rodamiento (rodamiento de bolas=3,
rodamiento de cilindros=10/3)

$$P_d = P_T X F_{servicio} \dots \dots E c(34)$$

$$N_d = \frac{P_d}{C} \dots \dots E c(35)$$

1.6.5. Automatización.

Se puede decir que de la automatización es una disciplina que incluye diversas especialidades y que, por lo tanto, se llega a utilizar varios conocimientos y métodos de diversas ciencias de ingeniería. Según la norma din 19223 define al autómata como un sistema artificial que se comporta de determinadas maneras relacionadas comandos de entrada con estados del sistema con el fin de obtener las salidas necesarias para solucionar tareas. Se llega a utilizar los diferentes componentes necesarios para configurar los diferentes procesos mediante sensores para captar los estados del sistema, actuadores para transmitir los comandos de control y unidades de control para poner en marcha el programa y para tomar decisiones (F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz 2008)

De la investigación se dice que el control únicamente puede ser eficaces si los pasos incluidos en los procesos se llegan a ejecutar en el momento exacto y orden correcto. Para la satisfacción de estas necesidades es necesario contar con un hardware fiable y además de un solo software que permita la planificación de procesos técnicos complejos y que sea capaz de controlarlos. Además, la interfaz de usuario debe corresponder a los estándares internacionales.

a. Teorías de Control.

a.1. Programación estructurada

Las características que debe tener una programación debe ser clara legible e inteligible, para ellos es importante que el código mantenga una buena estructura y que

este bien detallado, de tal manera que facilite la comprensión, modificación depuración del programa.

Un programa bien estructura se basa en bloques, donde cada uno estará detallado y formulado por un grupo de instrucciones que desempeña una determinada función. Es decir, un programa estructurado no es más que un conjunto de boques en vez de una lista continua de instrucciones.

a.2. Algoritmos

Es un conjunto organizado y finito de cálculos que permite hallar la solución de un problema. Se basa en resolver distintas situaciones teniendo en cuenta las propiedades; por definición son finitos, reciben información de entrada y producen resultados, cada situación es resuelta de forma precisa sin errores.

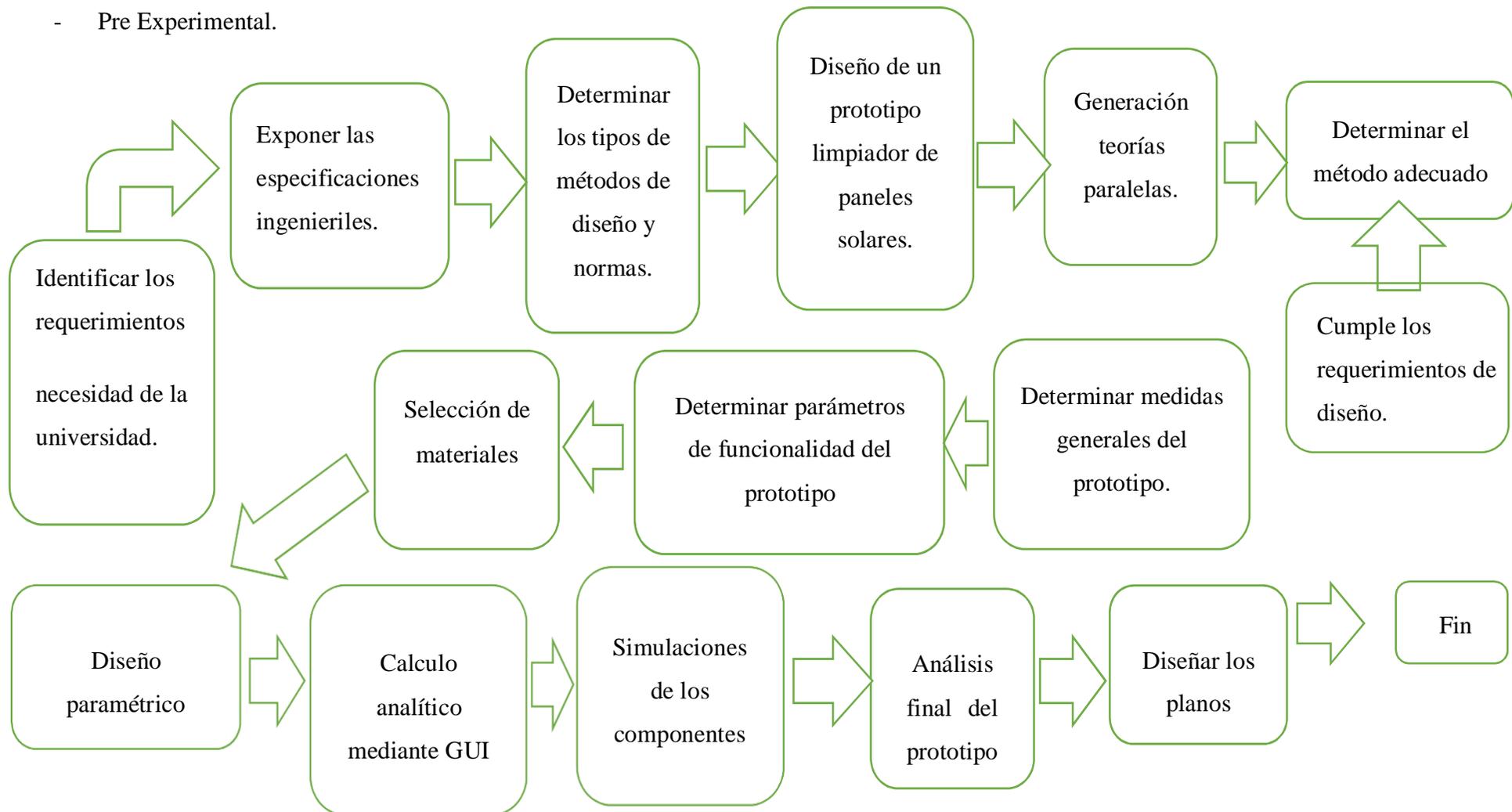
a.3. Programación de Arduino

Es un interfaz de programación electrónica abierta que se usa en la creación de electrónica abierta para la programación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de un fácil uso. Hace uso de un lenguaje de programación está basado en wiring y a su vez basado en C/C++.

II. MÉTODOS:

2.1. Tipo y diseño de Investigación:

- Pre Experimental.



2.2. Parámetros de definición del problema.

- Dimensiones del panel solar.
- Material del cilindro.
- Material del sistema limpiador.

2.3. Variables independientes de diseño.

- Configuración geométrica del robot.
- Velocidad de avance.
- Dimensiones de la microfibrá.
- Angulo de inclinación del panel solar.

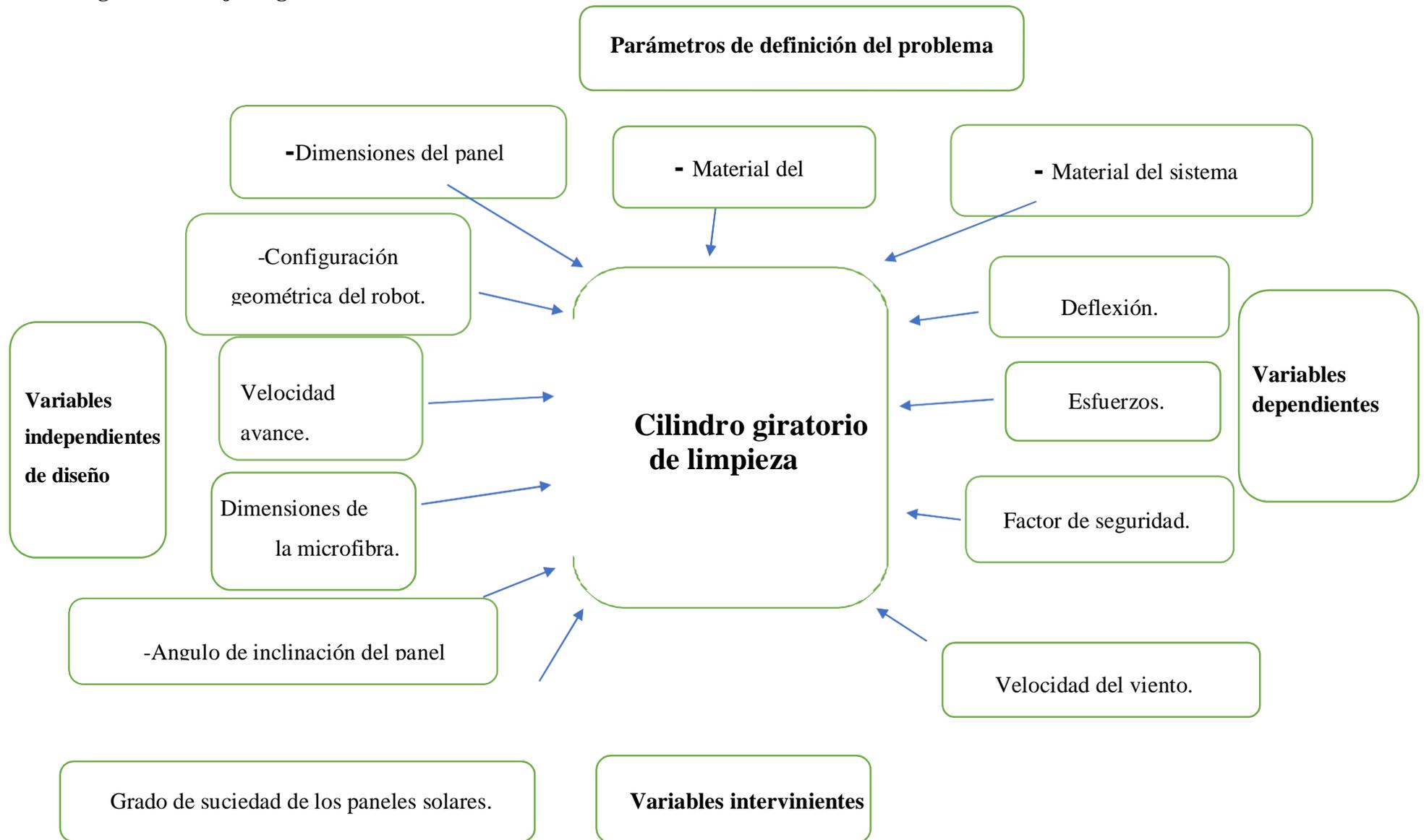
2.3.1. Variables dependientes.

- Deflexión.
- Esfuerzos.
- Factor de seguridad.

2.3.2. Variables intervinientes.

- Grado de suciedad de los paneles solares.
- Velocidad del viento.

2.4. Diagrama de Caja Negra:



III. RESULTADOS

3.1. Modelo de entrevista:

Tabla 10: Modelo de entrevista.



Entrevista para establecer las necesidades de diseño de un prototipo de limpieza a unos paneles solares. Encargados por la universidad señor de Sipán y entrevistado a las personas de mantenimiento y supervisión de la empresa IBT Group.

Nombre y apellido:

Cargo:

Rubro de la empresa:

Entrevistador:

Intrusiones:

- Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, luego proceda a marcar en la respectiva hoja su respuesta.
- A cada pregunta le corresponde una alternativa de respuesta.
- A la marca usted utilizara una (X) para responder con la interrogante

1. ¿Usted cree que un diseño de un prototipo sea un dispositivo para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos de manera autónoma?

2. ¿Conoce usted acerca de un diseño de un prototipo limpiador automatizado para paneles solares? existe alguna normativa para la limpieza de paneles solares?

() Si () No ¿especifique?.....

3. ¿Sabe usted acerca de que método se suele utilizar para la limpieza de los paneles solares y con qué frecuencia se limpia un panel solar?

4. ¿según su opinión que tan eficiente lo ves que un robot realicé la labor de limpieza de un panel solar?

5. ¿según su criterio que ventajas o desventajas tiene la limpieza de paneles solares, con el uso de un sistema automatizado?

6. Según su experiencia ¿Cuáles sería las características debería tener un limpiador de paneles solares?

7. ¿Cuántas personas crees que sería lo apropiado para l manipulación de uso del limpiador de paneles solares automatizado?

(X) Uno () Dos () Tres () o Mas indique.....

8. ¿Qué material y característica sería lo apropiado para la elaboración de la estructura del prototipo?

9. Según su experiencia. ¿Qué criterios de diseño serían importantes a considerar para el diseño del prototipo limpiador de paneles solares y así demostrar sus condiciones de limpieza?

10. ¿sabe usted cuanto de porcentaje se pierde de potencia o de energía debido a la suciedad de los paneles solares?

NECESIDADES DE EXPERTOS EN INVESTIGACIONES EN PANELES SOLARES.

Mediante 3 entrevistas se pudo obtener las necesidades que carecen los expertos, encargados de supervisión y mantenimiento de plantas solares en Arequipa (majes y repartición). Las entrevistas completas se pueden apreciar en el Anexo N° 10.

Se procede a evaluar los resultados que se obtuvo de la entrevista realizada indicando los aspectos a evaluar para así tener un mejor análisis, se presenta un resumen en la Tabla N°.8 sucesivamente, se especifican las observaciones más resaltantes inferidas de cada respuesta.

a. ASPECTO DE INFLUENCIA ACADÉMICA E INSTITUCIONAL DEL PRODUCTO.

El propósito de este diseño será didáctico, ya que permitirá reconocer el uso de teoría relacionadas al diseño mecánico, resistencia de materiales, ingeniería de materiales, etc.

b. Pregunta N° 01:

¿Usted cree que un diseño de un prototipo sea un dispositivo para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos de manera autónoma?

Las respuestas obtenidas fueron; si, ya que el rendimiento de los paneles solares se considera considerablemente por la acumulación de suciedad ya que esta expuesta a la interperie.

c. Pregunta N° 02:

¿Conoce usted acerca de un diseño de un prototipo limpiador automatizado para paneles solares?

() Si () No ¿especifique?.....

Coincidieron en que si conocen paneles solares.

d. Pregunta N° 03

¿Sabe usted acerca de que método se suele utilizar para la limpieza de los paneles solares y con qué frecuencia se limpia un panel solar?

Encontramos varias respuestas acerca de esta pregunta, ya que algunos mencionaron que el método que suele utilizar para la limpieza es el agua y a presión y que esto se puede limpiar dos veces por mes

Otras personas mencionaron que el método para realizar la limpieza es de forma manual y que se limpia una vez por semana.

e. Pregunta N° 04

¿según su opinión que tan eficiente lo ves que un robot realice la labor de limpieza de un panel solar?

Todos los entrevistados llegaron al mismo punto que fue: sería una forma muy efectiva ya que se ahorraría en la mano de obra.

f. ASPECTO DE LA PRODUCCIÓN DEL EQUIPO

El periodo de trabajo se proyecta será de 8 horas diarias, teniendo un promedio de limpieza por panel de $5\text{m}^2/\text{min}$

g. Pregunta N° 05

¿según su criterio las ventajas o desventajas que tiene la limpieza de paneles solares, con el uso de un sistema automatizado?

Coincidieron en que una de las principales ventajas sería mejorar la eficiencia del panel y como desventajas sería su costo, energía que se usaría del sistema de operación.

h. Pregunta N° 06

Según su experiencia ¿Cuáles serían las características que debería tener un limpiador de paneles solares?

Coinciden en que debería ser eficiente, cómodo, fácil transporte y de respuesta rápida a las señales de mando.

i. Pregunta N° 07

¿Cuántas personas crees que sería lo apropiado para la manipulación de

uso del limpiador de paneles solares automatizado?

(X) Uno () Dos () Tres () o Mas indique.....

Coinciden en que lo ideal sea una persona.

ASPECTO DE DISEÑO DE LA MAQUINA.

Pregunta N° 08

¿Qué material y característica seria lo apropiado para la elaboración de la estructura del prototipo?

Debería ser un material de polímeros y aceros, también sería un material liviano y resistente, como referencia especificaron el aluminio o aleaciones.

Pregunta N° 09

Según su experiencia. ¿Qué criterios de diseño serían importantes a considerar para el diseño del prototipo limpiador de paneles solares y así demostrar sus condiciones de limpieza?

Debería considerarse resistencia, peso y ángulo de movimiento, pero también importante es el montaje, desmontaje, ecología y rigidez.

Pregunta N° 10

¿sabe usted cuanto de porcentaje se pierde de potencia o de energía debido a la suciedad de los paneles solares?

Opinaron que puede variar del tamaño del equipo

3.2. Identificación de necesidades de diseño:

Para un prototipo limpiador automatizado para paneles solares de dimensiones 160 x 90 x 4 cm.

Según los datos obtenidos a través del análisis de estudio y por la entrevista se deduce que de acuerdo con las características de diseño para el prototipo de robot que realizará la limpieza en panel solar de dimensiones estándar, contamos que la velocidad de giro de cilindro de felpa será de 150 rpm se aplica esta baja velocidad por motivo de fricción y eficiencia en la limpieza. La potencia total del grupo motriz aplicada es de 10.5 W cuya fuente de energía eléctrica es por medio de baterías auto recargables. La tensión de alimentación de trabajo es de 12 V DC para que sea suficiente controlar el robot sin perjudicar la potencia y carga de batería puesto que se propone construirlo con materiales metálicos como aluminio. Todas estas características están plasmadas en la tabla 8.

Tabla 8. Características de diseño del limpiador solar.

Características de diseño	
Velocidad de giro de avance del cilindro de filtro	5 m/min
Potencia total	10.5 W
Fuente de alimentación	Baterías auto recargables
Tensión de alimentación	12 V DC
Velocidad de giro del cilindro de felpa	150 rpm
Componentes	Metálicos
Tipo de sujeción	Directa

Fuente. Elaboración propia

3.3. Recomendaciones de Diseño.

Se recopilaron las siguientes recomendaciones:

¿Cómo obtener una mejor eficiencia de paneles solares utilizando el limpiador automatizado como método de limpieza?

Al igual que con todo el equipo de generación de energía, los paneles solares necesitan un delicado mantenimiento para poder operar de manera eficiente. Sin embargo, la mayoría de las fuentes tradicionales de electricidad han sido, en su mayor parte, muy sencillas. Más allá de la instalación, no han requerido mucha atención a menos que algo haya ido técnicamente mal.

Fuentes de contaminación.

Los paneles fotovoltaicos pueden ser un imán de luz solar, pero también atraen un gran número de contaminantes como la suciedad, la contaminación y las heces de aves. Como los paneles solares deben estar al aire libre, esto es inevitable. A medida que operan mediante la conducción de la luz solar, las marcas en los paneles significan que las superficies pequeñas son incapaces de detectar correctamente la luz. Con el tiempo, esto reduce enormemente la eficiencia y la capacidad general del panel, Hay poco que se pueda hacer para evitar que los contaminantes se acumulen en primera instancia.

La suciedad y el polvo se transfieren a través de las ráfagas de viento, mientras que la contaminación atmosférica general se reúne en los paneles como un subproducto de la actividad industrial cercana o del tráfico. Esto suele formar una cantidad moderada de la contaminación del panel, pero las fábricas lo notarán más.

Esta es la razón por la que los parabrisas de los vehículos recogen suciedad donde los limpiaparabrisas no llegan, por lo que los paneles perderán efectividad si se dejan en manos de la madre naturaleza.

Limpiar sus paneles.

Para garantizar un rendimiento óptimo. De un panel solar se necesita que no haya elementos que interfieran como por ejemplo el polvo, bolsas, etc. Por este motivo el diseño de robot limpiador debe ser adecuado para que pueda retirar todo tipo de suciedad común y lograr la eficiencia entre la radiación y el panel solar.

Una de las reglas de oro para la limpieza de paneles solares es elegir el momento adecuado para abordar la tarea. Debido al calor de la propia luz solar, ciertamente no sería aconsejable limpiar algo que está siendo el foco de esa luz. Por la mañana temprano ofrece la

ventaja del rocío, que puede ayudar a aflojar la suciedad de la superficie por lo que se requiere menos producto para eliminarlo. El paso más importante en la limpieza y mantenimiento de paneles solares es asegurarse de que utiliza el mejor producto de limpieza. Muchos limpiadores de paneles estándar en base alcohol, tienden a dejar rastros de alcohol ya que no es soluble. Por lo tanto, el propio producto de limpieza contribuye a la obstrucción del panel.

Con el fin de lograr una limpieza eficaz que no deje atrás los residuos, los ingenieros de mantenimiento deben utilizar una alternativa libre de alcohol que proporcione la misma capacidad de limpieza independientemente de la temporada. Como los productos en base agua están sujetos a la congelación, la mejor opción es un producto basado en aditivos.

Mantenimiento de limpieza.

Una vez limpiado con un producto basado en aditivos, un panel estará impecable y pueden pasar meses antes de que se necesite otra limpieza. Si bien tiene un sentido lógico lavar los paneles de forma regular para asegurar la máxima conductividad, esto puede convertirse en una práctica costosa. Asimismo, se debe tener en cuenta que a través de esta técnica aumentaría considerablemente de sufrir arañazos a la superficie del panel ya que está sometido a un frotamiento abrasivo.

La limpieza de paneles solares una vez cada cuatro a seis meses permite a las empresas sacar el máximo partido al sol sin una caída en la eficiencia o gastando demasiado en soluciones de limpieza. Para que Europa alcance los objetivos de energías renovables esbozados en la COP21, es importante que las instalaciones se mantengan de forma adecuada para que los entornos y las empresas puedan realmente ver los beneficios de la energía solar.

3.3.1. Recomendaciones de Diseño para el Prototipo Limpiador:

Por consiguiente, se optó por la recopilación de información de normas a nivel mundial, tipos de diseño y códigos, solo se encontraron algunas normas las cuales se detallan, pero estas son solo referenciales a la terminología. Por lo consiguiente se hizo una recopilación de las recomendaciones de diseño de diferentes artículos de investigación de carácter mundial que se puede apreciar en la tabla N° 9.

Tabla 9. Características de diseño del limpiador solar.

ASPECTO / CRITERIOS	RECOMENDACIÓN	FUENTE
MATERIALES	Se aconseja que la estructura sea de aluminio ya que este soportara el sistema mecánico que consta de dos guías sobre las cuales se desplaza una barredera	Maria Cajas Diego Montaluisa. (2012)
	Se prioriza analizar el sistema de sujeción y el tipo de elementos que estarán en equilibrio, para calcular el material de cable que será la parte principal del funcionamiento y movilidad del robot.	Matthias Kegeleers(2015)
	Se recomienda que el sistema diseñado este compuesto con placas y columnas de aluminio, a pesar de tener este sistema robusto no lo hace tan pesado a comparación de otro tipo de fundiciones.	Burke, Matt; Greenough, Ryan; Jensen, Daniel; y Voss, Elliot, (2016).
	Se prevé que la unión de este diseño esté unida mediante soldadura del mismo material, teniendo como resultado mayor resistencia en la estructura.	

Fuente: Propia

Tabla 10.Recomendaciones de diseño en el aspecto de geometría.

ASPECTO / CRITERIOS	RECOMENDACIÓN	FUENTE
GEOMETRÍA	Se aconseja diseñar el equipo de acuerdo con las dimensiones de los paneles a desarrollar la limpieza en este caso tenemos las medidas de 142cm de largo y 37cm de ancho.	María Cajas
	Se recomienda seleccionar los motores de guía que no excedan el espesor de la base del equipo.	Diego Montaluisa. (2012)
	Se recomienda que la selección de fajas que le permitirá el desplazamiento, no se limite a las existentes en el mercado si no estén de acuerdo con las necesidades.	
	Se recomienda utilizar motores de bajo peso ya que el robot estará suspendido por cables quienes se encargarán de darle avance o recorrido a lo largo del panel con la ayuda también de dos motores se estimó que tenga un peso máximo de 1 kg.	Matthias Kegeleers(2015)
	Se recomienda utilizar motores con un diámetro de 4cm.	
	Se recomienda diseñar el equipo referente al sistema solar definido en este caso tenemos un rodillo de 61.5 cm, pero en total el equipo cuenta	Burke, Matt; Greenough, Ryan; Jensen, Daniel; y Voss, Elliot,
con 73.6 de largo, 12cm de ancho y con una altura de 5cm. Se seleccionarán engranajes con medidas establecidas por fabricantes, se tuvo en cuenta esto para su diseño.		

Fuente: Propia

Tabla 11.Recomendaciones de diseño en el aspecto técnico.

ASPECTO / CRITERIOS	RECOMENDACIÓN	FUENTE
TÉCNICA	<p>Se aconseja utilizar por dos formas una que consiste en el riego de agua recolectada por un sistema de captación de agua lluvia, y el otro tipo de limpieza dispone de un sistema mecánico con cepillo que barre la superficie del panel solar.</p>	<p>Maria Cajas, Diego Montaluisa. (2012)</p>
	<p>Se recomienda utilizar un rotor con dos cables unidos a los bordes del techo; el sistema es ágil, flexible y muy rentable.</p>	<p>KEGELEERS (2015)</p>
	<p>Se recomienda utilizar la combinación de un tren de engranajes (con 48 de paso engranajes Delrin) y un motor de 12v CC a girar tanto unos 5,00 pies de largo, eje del cepillo de vacío con diámetro de 0,25 pulgadas y conducir dos conjuntos de dos ruedas. La fuente de energía de accionamiento es un ciclo profundo de batería de plomo-acido de 12v.</p>	<p>Matt burke, Ryan Greenough, Dan iel Jensen, Elliot Voss. (2016)</p>

3.4. Determinación del Problema en Términos de ingeniería:

Los requerimientos para el diseño del prototipo limpiador de paneles solares se describen las técnicas mostradas continuación en la tabla N° 12 cuadro.

Una vez analizados los requerimientos del cliente y traducirlos a una tabla de ingeniería, se procede a establecer de manera ingenieril las necesidades del cliente. Con el fin de obtener una eficiencia del equipo, se tiene en cuenta las siguientes bandas de rodadura, sistema de suministro eléctrico, control y potencia, sistema de limpieza, estructura de soporte, ruedas o guías. Para la función de automatización del prototipo tendrá un motor, direccionado por la tarjeta Arduino, teniendo como complemento un sistema de poleas que permitirá realizar el avance. Este motor transmitirá el movimiento también al cilindro giratorio de limpieza, al mismo tiempo en el que se realiza el desplazamiento del equipo.

Tabla 12. Características del prototipo.

Estructura y características del prototipo limpiador de paneles solares

Banda de rodadura:	La potencia será sincrónica y la transmisión será direccional
Sistema de suministro eléctrico, control y potencia	se hará empleando una union de un sistema Arduino programable, sensores y una batería
Sistema de limpieza	Se utilizará agu
Estructuras de Soporte.	Se seleccionó aluminio, este será el que soportará los implementos del equipo.
Ruedas o guías	Determinaran el avance o recorrido

Fuente: Propia.

3.4.1. Identificación de conceptos

Los criterios que se tienen en cuenta son los siguientes: función, diseño fabricación, montaje, transporte, uso, mantenimiento y eficiencia. A cada uno de los criterios se le asignó una puntuación que en escala será de 1 a 5, obteniendo como resultado la combinación 3. En La tabla 16 se muestran los criterios de evaluación para seleccionar la combinación adecuada.

En la tabla 13 muestra la puntuación general para seleccionar adecuadamente el diseño del robot limpiador.

Tabla 13. Puntuación de criterios

Indicadores	
PUNTUACIÓN	DESCRIPCION
1	NADA SATISFECHO
2	POCO SATISFECHO
3	SATISFECHO
4	MUY SATISFECHO
5	EXLENTE

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 14 se presentan los puntajes ponderados que sirven para seleccionar la mejor combinación.

Tabla 14. Indicadores ponderados

Indicadores	
Criterios	Ponderado
Función	12
Diseño	13
Fabricación	12
Montaje	12
Transporte	11
Uso	12
Mantenimiento	13
Eficiencia	15
Total	100

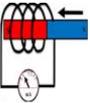
Fuente. Elaboración propia.

3.4.2. **Matriz Morfológica**

La matriz morfológica está elaborada de acuerdo a los materiales más comunes de diseño para robot limpiador de paneles solares. es por ello que se toma como punto de inicio la energía que se utilizará, en este caso la energía solar; el chasis del robot es variable según el material para que no pierda locomoción y pueda efectuar una limpieza adecuada. Para mejor detalle se muestra la Tabla 15.

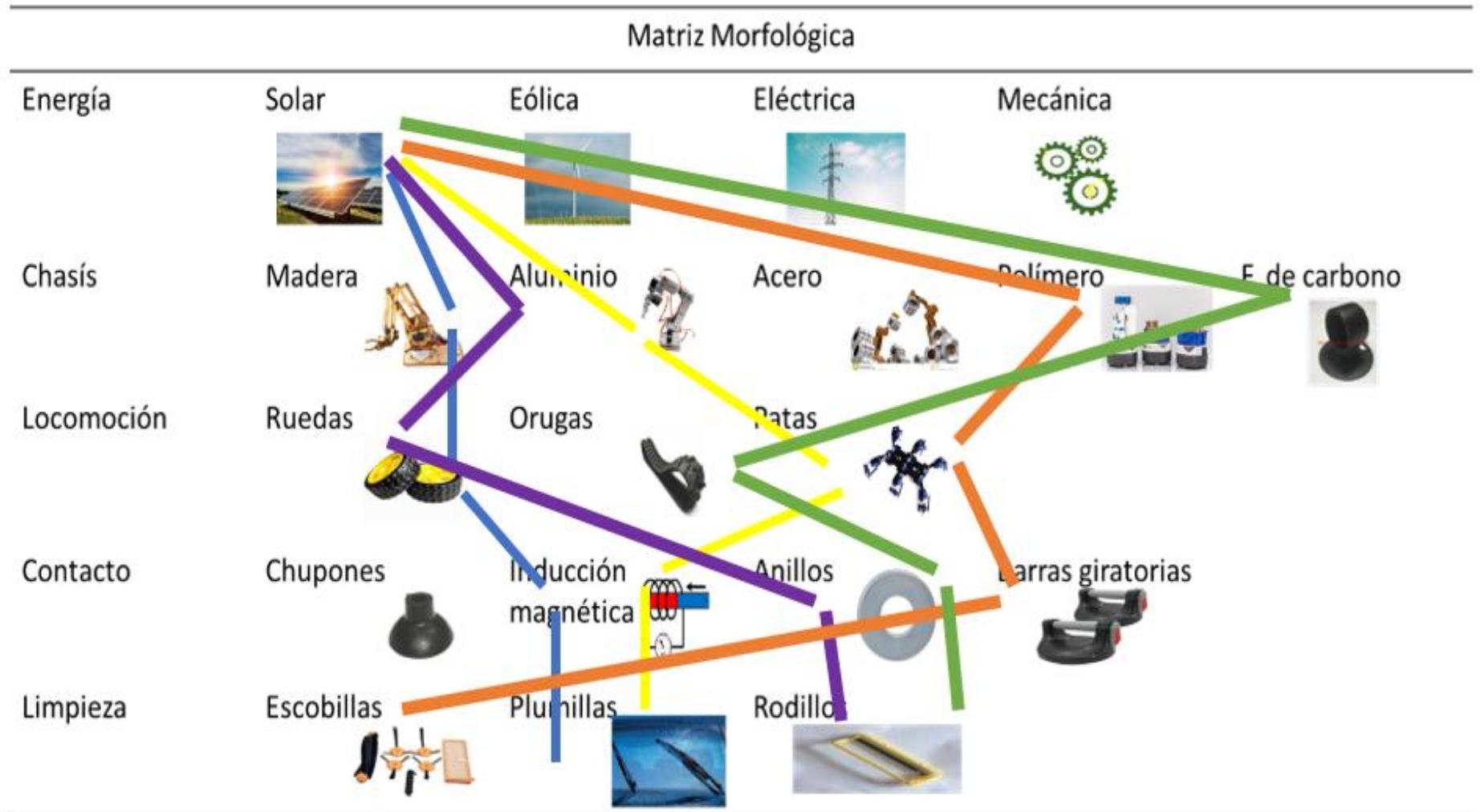
Por otro lado, tenemos que en la tabla 16 se han realizado combinaciones cuyo conjunto de elementos conforman el robot limpiador de paneles solares.

Tabla 15. Matriz Morfológica

Matriz Morfológica					
Energía	Solar	Eólica	Eléctrica	Mecánica	
Chasis	Madera 	Aluminio 	Acero 	Polímero 	F. de carbono 
Locomoción	Ruedas 	Orugas 	Patas 		
Contacto	Chupones 	Inducción magnética 	Anillos 	Barras giratorias 	
Limpieza	Escobillas 	Plumillas 	Rodillos 		

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16. Selección de casos



Fuente. Elaboración Propia

De acuerdo con la elaboración asignada determinamos cinco modelos propuestos del diseño de Robot, tal y conforme se describe a continuación

- **Combinación 1**
- **Combinación 2**
- **Combinación 3**
- **Combinación 4**
- **Combinación 5**

3.4.3. Generación de 5 conceptos Alternativos.

Los conceptos se realizarán en base a estudios e investigaciones, habiendo comparado diseños eficientes de otros autores, en lo que se relaciona al limpiador de paneles solares, teniendo en cuenta la factibilidad de su construcción, estructura y costos de fabricación.

a. Concepto 1:

ROBOT BÁSICO PARA LA LIMPIEZA DE PANELES SOLARES

El primer diseño consiste en un prototipo que limpiará paneles solares, su estructura consiste en un chasis de madera acoplado a llantas de polímero y goma, en el interior del chasis contiene un imán que por inducción magnética moverá al prototipo y finalmente utilizará plumillas para la limpieza.

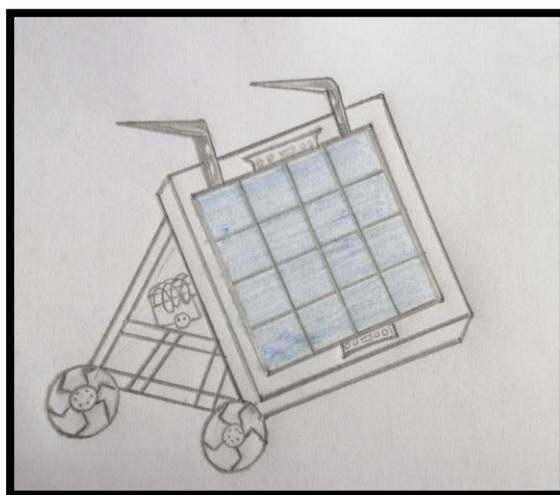


Figura 21. Robot básico para limpieza de paneles solares

Fuente: Elaboración propia.

b. Concepto 2:

PROTOTIPO LIMPIADOR DE PANELES SOLARES AUTOMATIZADO.

En este modelo de diseño el robot el robot tiene un chasis de aluminio, su desplazamiento será por medio de patas tipo araña hechas de un material liviano pero resistente que será inducido magnéticamente y al igual que el diseño 1 cuenta con plumillas para la limpieza del panel.

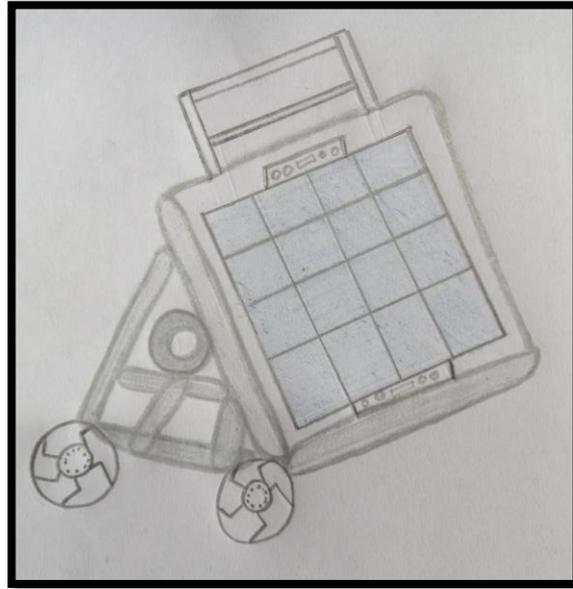


Figura 22. Prototipo limpiador de paneles solares automatizado

Fuente: Elaboración propia.

c. Concepto 3:

ROBOT AUTOMATIZADO PARA LIMPIEZA DE PANELES SOLARES

En este caso el diseño del robot tiene una estructura de aluminio con ruedas de polímero y goma contiene también anillos, su fuente de energía es una batería que será recargada por un panel solar. Un punto importante en este diseño es la adaptación de rodillos que facilitarán la limpieza del panel.

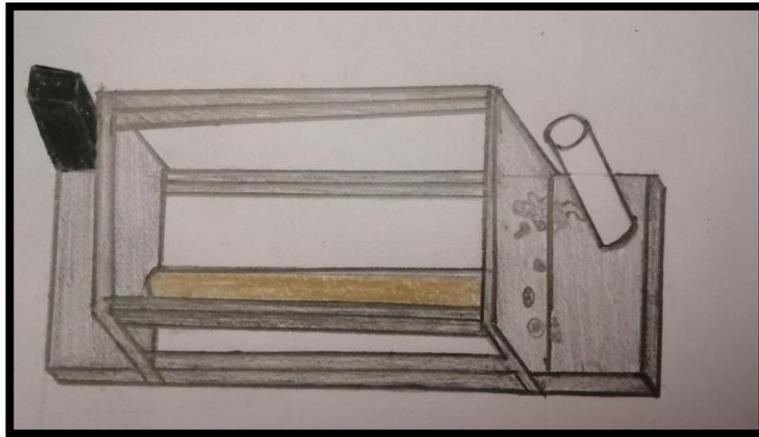


Figura 23. Robot automatizado para limpieza de paneles solares.

Fuente. Elaboración propia

d. Concepto 4.

PANEL DE BASE DE CARBONO

En la combinación cuatro el diseño propone un chasis hecho de material carbono por su resistencia y solides así el tiempo de vida del robot será prolongada, para la locomoción se utiliza una faja de oruga así realizará trayectorias lentas, pero con mayor seguridad que los diseños anteriores, también se le acopla anillos como en el diseño tres y rodillos de limpieza.

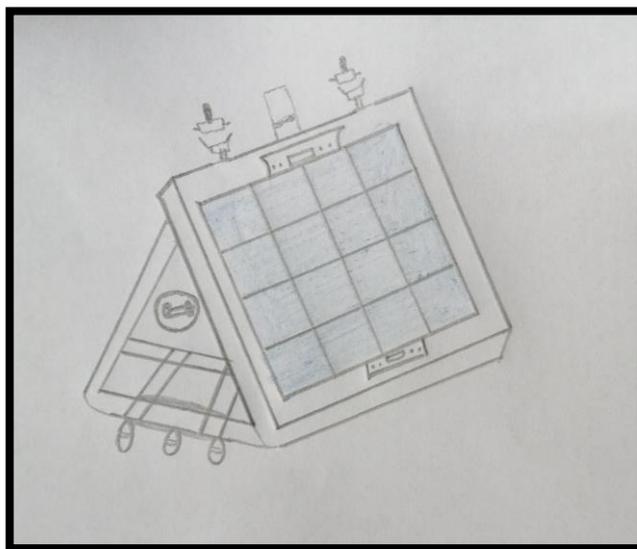


Figura 24. Panel de base de carbono

Fuente: Elaboración Propia.

e. Concepto 5.

LIMPIEZA APLICANDO ESCOBILLAS.

En este diseño, el robot tiene una base hecha por polímeros de bajo costo, su desplazamiento es por medio de patas tipo araña y sujeto a barras giratorias que impulsarán a las escobillas para una adecuada limpieza.

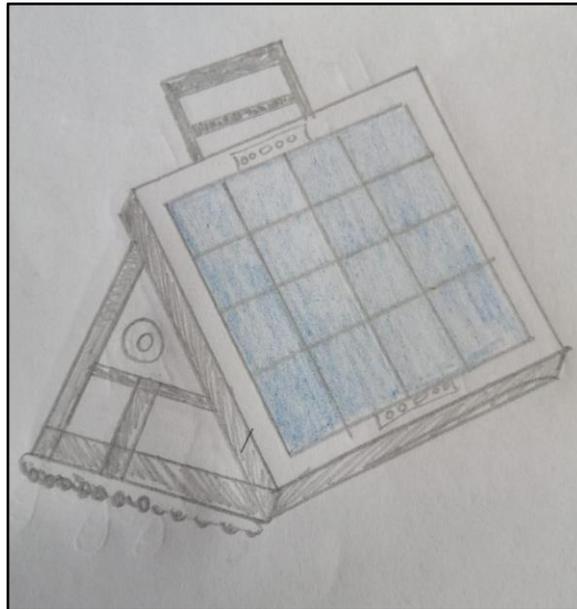


Figura 25. Limpieza aplicando escobillas.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.4. Criterios de Selección de Diseño

Tabla 17. Criterios técnicos de evaluación para diseños en fase de conceptos

CRITERIOS TÉCNICOS DE EVALUACIÓN PARA DISEÑOS EN FASE DE CONCEPTOS						
Conceptos	Según					
Criterios		C 1	C 2	C 3	C 4	C5
Función		2	3	3	2	3
Diseño		3	2	3	2	2
Fabricación		4	4	4	2	1
Montaje		3	2	5	2	2
Transporte		3	5	3	2	2
Uso		2	3	3	3	5
Mantenimiento		3	1	5	3	2
Eficiencia		2	2	4	4	1
Puntaje máximo		22	22	30	20	18

Fuente: Elaboración propia

A continuación, mencionamos cada criterio para un mejor entendimiento.

- **Función:** este criterio tiene como la finalidad de limpiar con agua que pasan por los filtros, estos logran en buen funcionamiento de limpieza.
- **Diseño:** Con este criterio evaluaremos la determinación de las piezas de la máquina.
- **Fabricación:** Este criterio según las normas y recomendaciones del fabricante.
- **Montaje:** Este criterio se tomó en cuenta por las dimensiones y la información necesaria para la construcción de dichas piezas para el montaje de todas las piezas.
- **Transporte:** este criterio garantiza una movilidad de seguridad a través del control y monitoreo de operación del transporte sin ningún riesgo.
- **Uso:** Este criterio asegura que su funcionamiento tengo un uso correctamente.
- **Mantenimiento:** Este criterio consiste en mantener un programa para la

elección de las diferentes decisiones que se debe tomar en la administración para la aplicar el mantenimiento.

- **Eficiencia:** con este criterio se considera manufacturar al máximo los resultados con el mínimo uso de recursos, energía y tiempo; con respecto a la utilidad y aspectos de costo y efectividad.

Los criterios que se otorgada de a cada uno de ellos se encuentra bajo los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas.

Para la selección de diseño del robot se toman en cuenta los criterios fundamentales como su fácil montaje, manufactura, costo, etc. Como se muestra en la tabla 18, siendo la mejor selección la Combinación 3.

3.4.5. **Determinar de las dimensiones de la estructura:**

El diseño del robot limpiador de paneles solares debe tener la capacidad de limpiar un panel con dimensiones de 160 x 90 x 4 cm que son las medidas estándar para cualquier panel que compone una planta fotovoltaica. Después de elegir el diseño conceptual idóneo para el prototipo limpiador de paneles solares (Combinación 3) y el diseño de configuración del sistema de movimiento del equipo, se establecieron las medidas generales del robot.

El equipo para diseñar requiere soportar una elevada temperatura de operación ya que está expuesta a los rayos solares. La estructura debe trabajar en un lugar de superficie plana pero inclinado a un ángulo específico, teniendo en cuenta su aspecto estético debe impactar y de menor peso posible. **Vásquez Daniel (2015).**

El largo de la maquina debe ser de 142 cm de largo y de 37cm de ancho con una altura de máxima de 20 cm, ya que dependerá del panel solar al cual se realice la limpieza, y no deberá pesar más 12 kg. **Cajas Maria y otros (2012)**

El diseño del equipo de ser construido estará dispuesto a realizar su trabajo dentro de los parámetros para los que fue diseñado. Deberá responder las expectativas y su optimo desempeño. **Kegeleer Matthias 2015).**

3.4.6. **Dimensiones del Equipo.**

Luego de a ver finalizado los Diseños conceptuales y de configuración se pasó a definir las medidas generales del equipo según las especificaciones del diseño que se encuentra en la Tabla N° 10 y las características de ingeniería que se muestran en la tabla N° 11. En la figura

Nº26 se muestra el boceto del diseño de configuración con las dimensiones conferidas ya ubicadas.

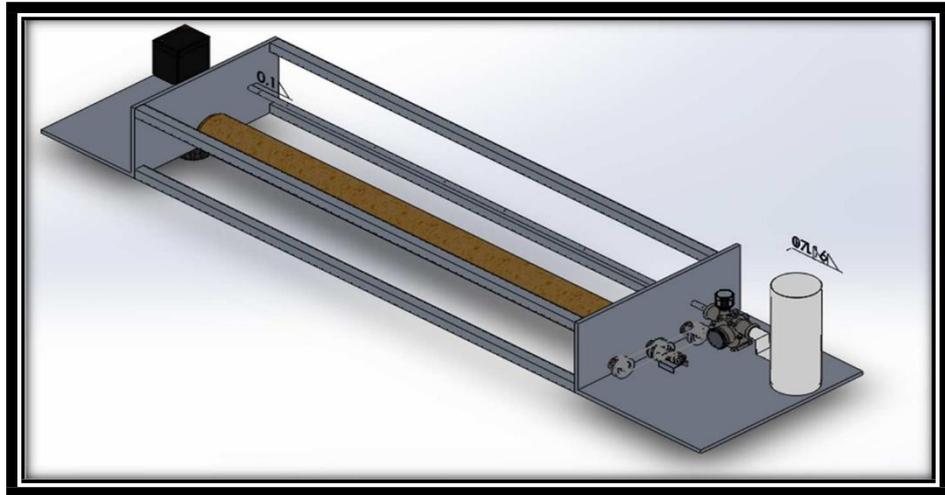


Figura 26.(diseño del prototipo)

Fuente: Propia.

3.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Dentro de las especificaciones técnicas para el adecuado funcionamiento del robot se considera que debe trabajar con un voltaje de 12 V DC a una intensidad de corriente de 40 mA bajo una potencia de 10.4 W, el ruido no debe ser muy notorio siendo su estructura de aluminio. En la tabla 18

Tabla 18.Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas finales	
Voltaje de operación	12 V DC
Intensidad de corriente máxima	40 mA
Potencia de trabajo	10.4 W
Intensidad de ruido	Bajo
Material de estructura	Aluminio

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se plantea la selección de la bomba de trabajo para el robot el cual debe tener una eficiente limpieza del panel ya que, si no cuenta con las características necesarias de operación, no se concretaría la limpieza en un 100 %. Se propone trabajar con una bomba de agua sumergible de Modelo MDC-PUMP-240 que según (Naylamp

Mecatronics, s.f.) Figura 27. Es una minobomba sumergible cuya función es experimentar con sistemas de fluidos, el tamaño de la bomba es reducido y de costo accesible no tiene mucho ruido, trabaja en modo sumergible continuamente. Las características principales se visualizan en la tabla 19.



Figura 27. Bomba MDC-PUMP-240

Fuente. Naylamp Mecatronics

Tabla 19. Especificaciones técnicas de Bomba

Especificaciones técnicas de Bomba MDC-PUMP-240	
Voltaje de operación	12 VDC
Corriente máxima	350 mA
Potencia	4.8 W
Caudal máximo	240 L/H
Ruido	<40 dB
Tiempo de vida	30000 horas
Carcasa	ABS
Temperatura máxima	60°
Líquidos de trabajo	Agua, Aceite, Gasolina

Fuente: Naylamp Mecatronics

Como bien se especificó líneas arriba el material utilizado para el chasis o carcasa del robot será de láminas de aluminio. En la figura 28 se detalla este tipo de material. L consulta se hizo en (F. Marques da Silva, 2017)

CHAPA DE ALUMINIO

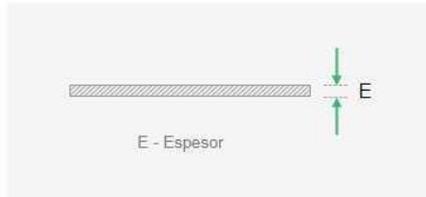


Solicitud de cotización ...

Aleación:	Anchuras:	Longitudes:
Al 1050	1.500 mm	4.000 mm
Al 1200	1.250 mm	3.000 mm
Al 5005	1.000 mm	2.500 mm
Al 5754		2.000 mm
Al 3003		

Otras medidas sobre pedido.

Otros espesores y formatos en BOBINA, BANDA, o DAMERO



Producto	Espesura	Peso
Chapa de Aluminio	0,30 mm	0,810 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	0,40 mm	1,080 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	0,50 mm	1,350 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	0,60 mm	1,620 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	0,70 mm	1,890 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	0,80 mm	2,160 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	0,90 mm	2,430 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	1,00 mm	2,700 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	1,20 mm	3,240 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	1,40 mm	3,780 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	1,50 mm	4,050 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	1,60 mm	4,320 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	1,80 mm	4,860 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	2,00 mm	5,400 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	2,20 mm	5,940 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	2,50 mm	6,750 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	3,00 mm	8,100 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	4,00 mm	10,800 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	5,00 mm	13,500 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	6,00 mm	16,200 Kg/m ²
Chapa de Aluminio	10,00 mm	27,000 Kg/m ²

Figura 28. Características de chapa de aluminio

Fuente: F. Marques da Silva

3.5.1. ELECCIÓN JUSTIFICADA DE LA SOLUCIÓN

Tras el desarrollo de los campos anteriores, y habiéndose realizado de una manera extensiva las soluciones que se plantean hoy en día en el mercado; se realiza la elección de una solución definitiva que aporte valor dentro del sector y que sea posible la realización de un prototipo. Dividiremos este apartado en tres categorías: Elección del tipo de tracción, sistema de limpieza que se empleará y sistema de suministro eléctrico, control y sensores. Además, se añadirá una propuesta de implementación de un método de adherencia pasiva.

3.5.2. Tipo de tracción:

El diseño a realizar estará conformado por un sistema de tracción tipo oruga. Se puede decir que este tipo de tracción presenta una mejor adherencia y una mayor fuerza de tracción que un sistema compuesto de ruedas. En el capítulo anterior se propuso como

modelo de tracción de tipo oruga por ser más recomendable para nuestro diseño ya que presenta un sin número de ventajas por ejemplo se puede desplazar por cualquier superficie a su paso ya sea húmedo o cualquier superficie que se presente en su desplazamiento. Llegando hacer sin duda la mejor solución para el diseño. Se realizarán estudios detallados sobre la conformación del diseño de tracción.

3.5.3. Sistema de limpieza:

Esta parte del diseño es el más importante ya que el aspecto más importante del diseño sin lugar a duda, el dispositivo debe ser capaz de limpiar las placas solares, y para ello se debe diseñar un sistema eficaz y a la vez versátil para cumplir con los objetivos del diseño. Para elegir la solución definitiva nos hemos fijado en esencia en la planteada por la empresa robot en su Scooba 450, donde se realizan varias etapas para conseguir la limpieza óptima. Nosotros hemos realiza algo similar, aunque con variaciones propias debido a la complejidad que poseen las placas solares para su limpieza. Lo dividiremos en tres etapas.

El agua se suministrará a través de dos depósitos ubicados en los laterales de la máquina y bombeada con bombas sumergidas en esos depósitos. El rodillo nuevamente será de microfibra, aunque se mezclarán con pelos de nylon para ofrecer rigidez y garantizar una limpieza óptima. La tercera etapa consistirá en un perfil de caucho del estilo del que se utilizan en los limpiacristales de los coches. Se ubicará en la parte posterior de la máquina y se empleará para la retirada de agua, así como la utilización de esa agua para eliminar posibles restos de suciedad que se hayan podido quedar en la superficie.

3.5.4. Sistema de suministro eléctrico, control y potencia:

En este caso la elección y su justificación vienen dadas por los diferentes ejemplos ya vistos y sus especificaciones concretas. Para alimentar de corriente a la máquina se hará a través de una batería de 24V de li-ion de alto rendimiento y con una gran capacidad. El consumo de la máquina y la capacidad de la batería vendrán calculadas más adelante. El control de todo el sistema se realizará mediante una combinación de un sistema Arduino programable y un driver de control de motores para realizar todos los movimientos de la máquina de manera precisa, además de varios sistemas de protección necesarios en máquinas automáticas. En la parte de sensores se incluirán cuatro sensores láser situados en las periferias de la máquina y servirán

para conocer los límites de las placas solares. Además, se incluirá otro sensor capaz de detectar suciedad situado tras el primer rodillo, que hará que la máquina pase a un modo diferente para garantizar la extracción de dicha suciedad.

Por otro lado, se valorará incluir en la banda de caucho que llevará el sistema de tracción, una serie de ventosas pasivas de pequeño tamaño por toda la superficie, garantizando el aumento de adherencia necesario para realizar todas las operaciones sin la pérdida de control. De esta manera podremos incrementar la inclinación a superar. Esta implementación se estudiará más adelante y, únicamente se hará efectiva tras un estudio de campo del sistema. Tras esta explicación queda clara la disposición general de la máquina en el contexto donde realiza el trabajo y ya se puede llevar a cabo los estudios de los diferentes sistemas y el desarrollo de la solución.

3.5.5. Selección de materiales para el sistema:

Para la selección de material conveniente y adecuado para la construcción de los ejes del sistema de transmisión se tienen en cuenta el aluminio, que es el más adecuado para implantar. Las alternativas están basadas bajo los criterios de resistencia de materiales, disponibilidad seleccionar los materiales y asimilarlos al diseño de (engranajes y el material), y costos que deberán ser del porcentaje menor al costo de un panel, deberá ser de fácil transporte el mantenimiento deberá realizarse a la necesidad de la maquina o especificar un programa de mantenimiento.

Tabla 20. Costos generales del limpiador de paneles solares

Costos generales del limpiador de paneles solares			
Materiales	cantidad	costos unitarios	total
Tuvo de aluminio cuadrado	3	50	150
Ruedas	4	28	112
Cilindro giratorio de aluminio con felpa	1	250	250
Placas 1 y perforaciones	1	80	80
Placa 2 y perforaciones	1	80	80
Pasador de poleas	2	30	60
Pasador para llantas	2	30	60
Tuvo de aluminio redondo y Perforaciones	1	50	50
Tarjeta Arduino	1	250	250
Moto reductora de 150 rpm	1	180	180
Batería de 12v	1	120	120
Panel solar	1	150	150
Polea simple	1	30	30
Polea doble	1	45	45
Operaciones estimadas varias	1	500	500
			2117

Fuente: Elaboración propia

3.5.6. Cálculos que Complementan el diseño del prototipo limpiador:

a. Cálculo de poleas

Se selecciono elementos como poleas en V de un tipo de canal de Buje QD, para transmitir el movimiento. Para el diseño se empleara tres poleas que estarán en contacto entre polea y correa, donde la primera polea será de doble canal, es la motriz que esta acoplada al motor que dará movimiento al cilindro giratorio de limpieza y a la segunda y tercera polea (conducidas) que están acopladas al eje de las llantas principales que conduce al desplazamiento del prototipo.

Para la selección se usará la relación de velocidades y diámetros requerida para un óptimo funcionamiento del equipo; con el catálogo (manual de poleas en V Intermec) se escogerá las poleas. Para calcular la relación velocidades diámetros se usa la ecuación (32) sabiendo que la velocidad de rotación del motor es de 150 rpm y la velocidad del eje debe ser de 120 rpm.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1} = j$$

$$j = \frac{150}{120} = 1.25$$

Con el resultado que se obtenido y haciendo uso de la tabla del Anexo N° 9 se encontró dos poleas con relación de diámetros de 1.25 lo cual se detalla a continuación:

Diámetro de la polea 1 (m) $D_1 = 55\text{mm}$

Diámetro de la polea 2 (m) $D_2 = 55\text{mm}$

Para ver el número de canales debe tener la polea se calcula la potencia de diseño con la siguiente expresión:

$$P_d = P_T X F_{servicio} \dots \dots Ec(34)$$

Según el anexo N° el factor de servicio para molinos de martillos para servicio continuo es de 1.6. Reemplazando los valores en la ecuación tenemos

$$P_d = 5.3 \times 1.2 = 6.3$$

La potencia del motor seleccionado es de 5.3 w y las revoluciones de 150 rpm además la polea que conecta al motor es de 55 mm de diámetro con esto y el anexo N° resulta que la capacidad de transmisión por canal es de 4 w. Entonces el número de ranuras es de:

$$N_r = \frac{P_D}{C} \dots \dots Ec. (32)$$

$$N_r = \frac{6.36}{4}$$

Redondeando son 2 canales los que debe tener la polea para poder transmitir de manera óptima toda la potencia del motor.

b. Selección de faja

Para calcular la longitud de la banda tenemos que conocer las distancias entre centros de las poleas (C) y los diámetros de las poleas. La distancia entre las poleas podemos calcular con la ecuación (26):

$$D_c > \frac{D_2 + 3D_1}{2}$$

$$D_c > \frac{0.055 + 3 * 0.055}{2} = 0.11m$$

La distancia entre centro como mínimo debe ser de 0.11 m, debido al espaciamiento de los componentes se redondeará a 0.12 m. Luego este valor se usa para calcular la longitud de la faja con la ecuación (27)

$$L = 2D_c + \frac{n}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 + D_1)^2}{4D_c}$$

$$L = 2 * 0.12 + \frac{n}{2}(0.055 + 0.055) + \frac{(0.055 + 0.055)^2}{4 * 0.12}$$

$$L = 0.35m$$

La longitud de la correa es 1.03 m para las poleas, con la potencia de diseño y el rpm se escogerá el tipo de correa que según el anexo N° 10 la correa 3V cumple con las cargas de diseño calculadas anteriormente (Ver figura N°50); este modelo de correas tiene como característica una capacidad de potencia superior a las correas clásicas por presentar un mayor contacto en las paredes de la polea.

Los cálculos se realizaron en base a criterios de otros estudios u investigaciones previas de diferentes autores, en lo que respecta para la configuración global el diseño del prototipo limpiador de paneles solares.

Para calcular parámetros solares se utilizó la calculadora solar de Delta Volt como se muestra en la figura 29. (Delta Volt, 2010)

Figura 29. Calculadora solar
Fuente: Delta Volt.

c. Cálculo de batería y dimensionamiento del panel solar:

Para el cálculo de la capacidad de la batería se realizará un desglose previo con el consumo de los diferentes elementos de la máquina. Los elementos como los sensores capacitivos, se hará una estimación aproximada, que nos servirá para el cálculo.

Bomba De Agua Modelo Mdc-Pump de 4.8w adicionalmente se cuenta con un motor ESTEPPER NEMA 23 de 4.8w. Una vez realizados los cálculos se muestran en la tabla 21 .

Tabla 21.Resultados de panel solar

Resultados de panel solar	
Potencia de Módulos solares	10 vatios
Batería	30 Ah / 12 V DC
Consumo	61.8 Wh
Controlador solar (1)	1 A

Fuente. Delta Volt

Tendremos 2 equipos cada uno de ellos con una potencia, el cálculo realizado por la calculadora solar es con el uso de tres horas promedio diaria, no se requiere un inversor con una radiación promedio de 6kWh/m² con una perdida asumida del 16%.

La potencia total consumida por la máquina será entonces, de 61.8 W. Para dimensionar la batería es necesario convertir la potencia a corriente consumida, para, conseguir la capacidad de la batería.

Así pues, 30 A de consumo de corriente de todos los elementos que se incluyen en la máquina. Como la autonomía esperada es de 2 días. La capacidad de la batería deberá ser como mínimo de 30 Ah, por lo que se opta por coger una batería con 40 Ah de consumo. La batería final que se elige para el proyecto es una batería LiFePo₄, puesto que son unas baterías muy eficientes para estos tamaños de capacidad y voltaje.

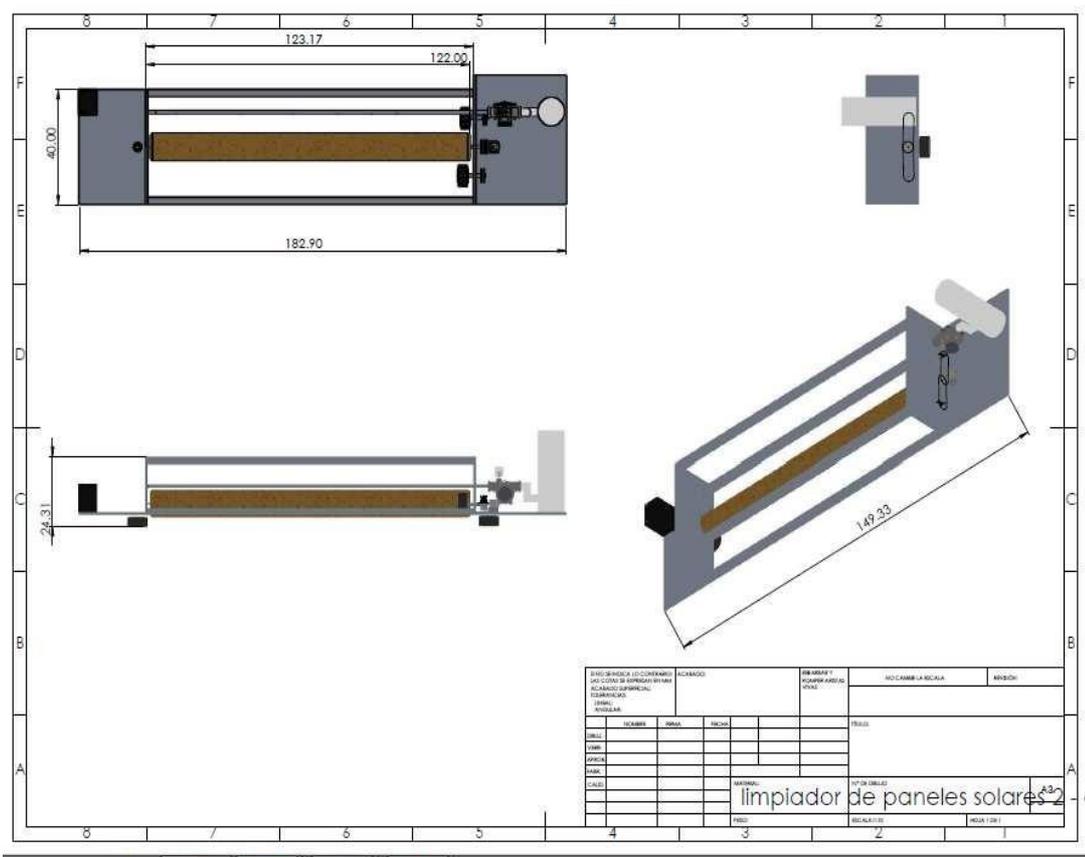


Figura 30. Plano final de robot limpiador de paneles solares

Fuente. Elaboración propia

d. Fuerza de limpieza del prototipo:

La fuerza de resistencia de poleas en el caso de este tipo a bajas velocidades es muy alta, por lo que pueden transmitir toda la potencia necesaria para impulsar el dispositivo en inclinaciones muy desfavorables.

Tabla 22. Resistencia del diente según la velocidad angular.

RPM (1/min)	0	10	50	100	200	500	1000	1500	2000
Fp (N/CM)	78	77	76	74	70	61	51	47	44

Fuente. Elaboración propia

Se parte de un supuesto en el que tenemos una polea motriz única. La potencia para transmitir, según la ecuación de Poncelet, será: $P = T_2 - T_1$, coincidiendo esta fuerza con la fuerza de rozamiento que debemos sobreponer (F_r).

La fuerza de rozamiento para que nuestro dispositivo no pierda la adherencia será

igual o mayor que la fuerza de rozamiento calculada con el coeficiente estático de fricción. Así pues, la fuerza de rozamiento será:

$$Fr = \mu_s * \left(\frac{W}{2}\right)$$

Siendo μ_s el coeficiente de rozamiento estático y W el peso total del dispositivo.

El coeficiente estático de rozamiento viene a calcularse a través de métodos empíricos como se demuestra en el papers (**Onset of frictional sliding of rubber–glass contact under dry and lubricated conditions**).

Donde efectúa estudios en diferentes condiciones para calcular el coeficiente de rozamiento estático y dinámico del caucho sobre cristal.

El coeficiente de fricción que nosotros entendemos posible entre el caucho y el vidrio es de 0,7, puesto que existen datos que arrojan esos resultados; aun así, se deberán hacer análisis con diferentes muestras de caucho para determinar un coeficiente exacto en las condiciones en las que esta máquina va a desarrollar su trabajo.

Entonces ya podemos concretar que la fuerza de rozamiento será de 210 N, multiplicando la mitad del peso de la máquina por el coeficiente estático.

e. Lógica de programación en Arduino

```
//// Asignación de un nombre a un número de un pin \\\n\nchar val;      //Valor de la comunicación serial\n\nint PWMA = 6;   //Velocidad motor A (Ubicado a la izquierda del dispositivo)\nint dirmotorA1 = 7; //Dirección motor A borne 1\nint dirmotorA2 = 8; //Dirección motor A borne 2
```

```

          //Declaración de pines como salida.
          //Iniciación de comunicación serial.

void setup()
{
  int i;
  for(i=6;i<12;i++)
  {
    pinMode(i, OUTPUT); //Poner pines 6,7,8,9,10,11 de salida
  }
  Serial.begin(9600); //Iniciar comunicación serial a 9600 bits por segundo
  paro(); //Función paro
}

```

//////////////////////////////////// FIN //////////////////////////////////////

```

          //Ciclo que realiza mientras esté la comunicación serial, donde dependiendo de la letra que reciba
          //de la aplicación, realizará una función
          void serialEvent()
          {
            if(Serial.available())
            {
              val=Serial.read(); //val toma el caracter que viene de la aplicación móvil
            }
            switch(val)
            {
              case 'X':
              {
                adelante();
                break;
              }
              case 'Y':
              {
                atras();
                break;
              }
              case 'Z':
              {
                paro();
                break;
              }
            }
          }

```

//////////////////////////////////// FIN //////////////////////////////////////

Figura 31. Lógica de programación en Arduino

Fuente. Elaboración propia

3.5.7. Simulación para determinar.

Los resultados del análisis en el eje de transmisión muestran una deflexión máxima de 4.41 grados. Es la desviación se producirá en el extremo más alejado del motor. La deflexión máxima del eje ante el análisis de torsión.

Nuestro análisis muestra que el eje de transmisión puede manejar el par del motor.

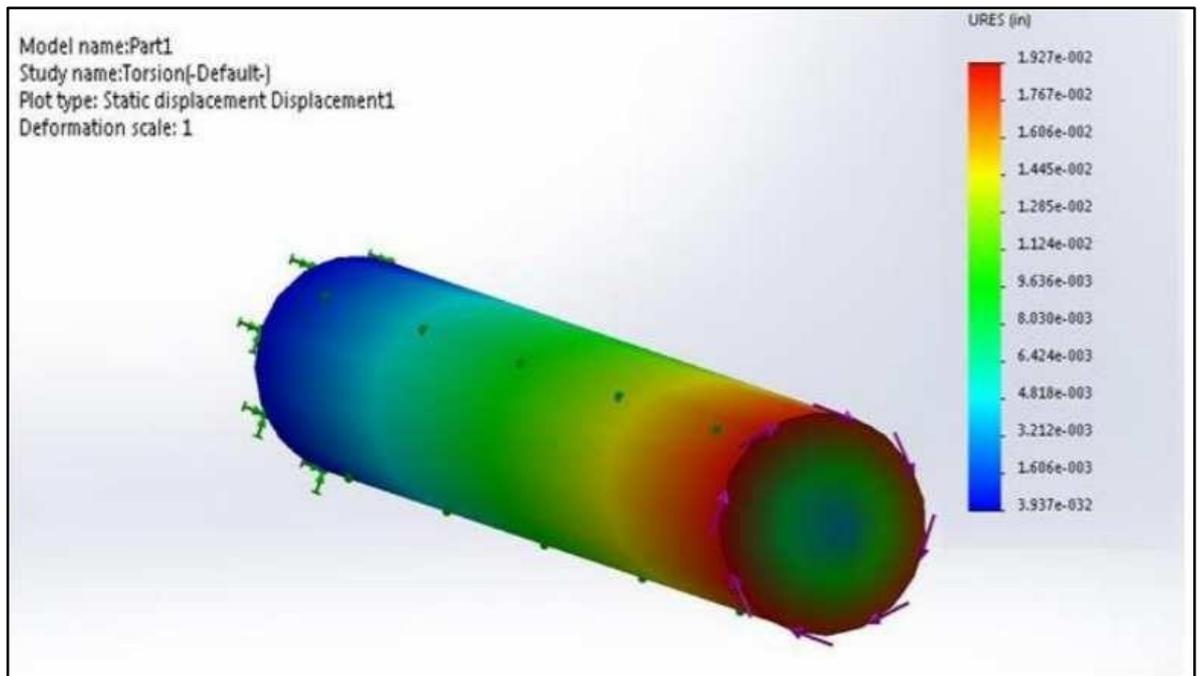


Figura 32. Cilindro giratorio de aluminio con felpa
Fuente: Propia

3.5.8. Estudio Económico:

El presupuesto se realiza de manera aproximada, ya que no es posible conocer con precisión algunos de los precios finales tanto del prototipo como del futuro producto comercial.

Tabla 23. Presupuesto perfiles aluminio.

MATERIAL ALUMINIO	MEDIDAS (mm)	CALIDAD	UNIDADES (m)	€/m	Total
Tubo de aluminio	35 x 33	600T66	6	1,77	10, 62 €
Barra de aluminio	6	2011 calibrado	3	8,73	26, 19 €
Perfil Angulo	40 x 40 x 4	6060T66	6	3,88	23, 28 €
Pletina de aluminio	100 x 4	6060T66	6	6,71	40, 26 €
Perfil Angulo	40 x 20 x 2	6060T66	6	1,95	11,70 €
Chapa	2000 x 1000 x 1	1050H24	3	19,47	58, 41 €
				TOTAL	170,46 €

Fuente: Propia

IV. CONCLUSIONES

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es de carácter preventivo y correctivo.

Existe una importante oportunidad de negocios en el mercado de las energías renovables no convencionales debido al cambio en la configuración de generación eléctrica que su principal actor la energía fotovoltaica.

Este proyecto básicamente trata de manera amplia las soluciones mecánicas desde el punto de vista del diseño y la integración de todos los elementos indispensables para garantizar la limpieza en un todo que cumpla los objetivos propuestos.

Esto hizo disminuir la capacidad del depósito de agua. Aunque la elección más innovadora para este tipo de máquinas es la sucesión de etapas propuesta en el sistema de limpieza como garantía de limpieza total y de cumplimiento del objetivo

Esta sucesión de etapas se combina con rodillos de microfibra, capaces de duplicar su peso en agua contenida, además de garantizar la eliminación de sustancias menos pesadas de la superficie de la placa.

No está de más recordar que para la limpieza de las placas solares deben tenerse en cuenta recomendaciones de seguridad: realizar la operación en momentos de baja incidencia solar y en el caso en el que los paneles solares estén ubicados en tejados o lugares de difícil acceso, extremar la precaución o contratar a un técnico especializado en trabajos verticales.

La frecuencia con que debe efectuar la limpieza de las placas fotovoltaicas dependerá de muchos factores: polución, salinidad si están en zonas costeras, proximidad a focos de suciedad, tráfico, presencia de aves, etc. Las lluvias y los vientos pueden ser aliados para mantener limpias las placas, pero también pueden jugar en nuestra contra propiciando los depósitos de barro, hojas o suciedad.

Se realizó una matriz morfológica para elaborar modelos propuestos de los cuales 5 fueron propuestos mediante un análisis se llegó a seleccionar la combinación 3 para la elaboración del prototipo limpiador de paneles solares.

El diseño del robot estará estructurado con una base de aluminio y ruedas de polímeros y goma incluido con una batería que será recargado por un panel solar y a la vez el diseño incluirá un rodillo que facilitará la limpieza del panel solar.

El diseño del robot limpiador solares tendrá la capacidad de limpiar un panel con dimensiones de 160 x 90 x 4 cm son medidas estándares para cualquier panel que compone una planta.

El robot diseñado tendrá las siguientes dimensiones de 142 cm de largo y de 37 cm de ancho con una altura de 20 cm con un peso no más de 12 kg.

El funcionamiento del robot trabajara con un voltaje de 12 V DC a una intensidad de corriente de 40 mA bajo una potencia de 10.4 W, el ruido no será muy notorio siendo su estructura de aluminio.

Para la construcción del robot limpiador de paneles solares se tendrá un gasto de inversión de s/.2117, con lo cual nos permitirá ahorrar de una manera considerable en mano de obra y se realizará un trabajo más eficiente de limpieza de los paneles solares.

Se empleará un motor de 150 rpm y una velocidad el eje de 120 rpm, con unos diámetros de poleas de 55 mm siendo la longitud de la correa de 1.03 m para las poleas con los datos obtenidos se puede escoger el tipo de correa que sería el de 3v ya que cumple con las cargas de diseño calculado.

La programación para su correcto funcionamiento del robot limpiador de paneles solares se realizará en Arduino.

En la simulación de análisis del eje de transmisión nos arroja 4.41 grados de deflexión máxima, es la desviación que se producirá en el extremo más alejado del motor.

V. REFERENCIAS

- Hector Fierro, Victor Medrano (2015) PROTOTIPO DE SISTEMA DE PANEL SOLAR AUTÓNOMO CONTROLADO POR ARDUINO Y TECNOLOGÍA XBEE PARA USO DOMÉSTICO.

- Understanding the Factors that Affect the Utilization of Photovoltaics in High Atmospheric Dust Concentration Regions, Abu Dhabi as an Example. By: Zaid M. Tahboub, Supervisor: Dr. Matteo Chiesa.

- Andrea Nepomuceno, Hector Jimenez (2014) DISEÑO DE UN MODELO FUNCIONAL PARA LA LIMPIEZA DE UNA CARA EN EL ELEVADOR DEL CIA, FI

- Daniel Vasquez (2015) DISEÑO Y CONSTRCCION DE UN PROTOTIPO DE ROBOT LIMPIADOR DE VIDRIO AUTONOMO CON MANDO INALAMBRICO.

- Nawaf Albaqawi (2014) Development of an automatic robotic cleaning system for photovoltaic plants.

- Clean Energy Prize. (2013, 2 26). PV Cleaner. Retrieved 2 20, 2014, from Clean Energy Prize:
http://cep.mit.edu/wpcontent/uploads/2013/02/PV_Cleaner_Executive_Summary.pdf

- A.Y. Al-Hasan, "A new correlation for direct beam solar radiation received by photovoltaic panel with sand dust accumulated on its surface," Solar Energy, vol. 63, no. 5, pp. 323-333, Nov. 1998.

- A.R. Jha. Solar Cell Technology and Applications. Auerbach, 2010.

- DUFFIE, John A. 2013 "Solar Engineering of Thermal Processes" Cuarta Edición.

Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

- Matt Burke, Ryan Greenough, Daniel Jensen, Elliot Voss. 2016 (PROYECT SPACE: Solar Panel Automated Cleaning Environment).

- Edison Samaniego (2009) Desarrollo de un sistema automático de limpieza robótica para plantas fotovoltaicas.

- H. K. Elminir, A. E. Ghitas, R. H. Hamid, F. El-Hussainy, M.M. Beheary, K. M. Abdel- Moneim, Energy Conversion and Management, 47, 3192 (2006)

VI. ANEXOS:

ANEXO 1: Resumen de encuestas

	PREGUNTAS	Jony Villalobos Cabrera.	David Paredez Sotomayor	Javier Arévalo López
ASPECTO DE INFLUENCIA ACADÉMICA E INSTITUCIONAL	¿Usted cree que un diseño de un prototipo sea un dispositivo para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos de manera autónoma?	Si ya que puede eliminar la suciedad de manera eficiente.	Si, creo que es un equipo sofisticado que puede eliminar la suciedad de los paneles solares.	si ya que rendimiento de los paneles solares se reduce significativamente con la acumulación de suciedad.
	¿Conoce usted acerca de un diseño de un prototipo limpiador automatizado para paneles solares? existe alguna normativa para la limpieza de paneles solares?	Si	Si	Si
	¿Sabe usted acerca de que método se suele utilizar para la limpieza de los paneles solares y con qué frecuencia se limpia un panel solar?	El método empleado es manual y se debe limpiar cada 3 meses.	Frecuencia: quincenal. Método: agua a presión y T° ambiente.	Una vez por semana y de forma manual
	¿según su opinión que tan eficiente lo ves que un robot realicé la labor de limpieza de un panel solar?	Sería muy eficiente pues sería más efectiva y sobre todo ahorrará mano de obra.	No sería tan eficiente en su totalidad ya que puede presentar desperfectos en su funcionamiento.	Se tendría que realizar una buena programación para que puedan ser eficientes en la limpieza de los paneles solares.
	¿según su criterio las ventajas o desventajas que tiene la limpieza de paneles solares, con el uso de un sistema automatizado?	Mejorará la eficiencia del panel, será la ventaja y la principal desventaja su costo	Ventaja: mejorar eficiencia de captación de radiación solar. Desventaja: uso de energía que debe brindar el sistema de generación	Una de las ventajas es reducir la mano de obra y la desventaja fallas que puede presentar el robot limpiador.

	Según su experiencia ¿Cuáles sería las características debería tener un limpiador de paneles solares?	Debe ser cómodo y eficiente.	Liviano de fácil mantenimiento, bajo costo, eficacia, respuesta rápida a la señal de actuación.	Mecanismos implementados técnicamente sofisticados.
	¿Cuántas personas crees que sería lo apropiado para la manipulación de uso del limpiador de paneles solares automatizado?	Una persona.	Una persona.	Una persona.
ASPECTO DE DISEÑO DE LA MAQUINA	Según su experiencia. ¿Qué criterios de diseño serían importantes a considerar para el diseño del prototipo limpiador de paneles solares y así demostrar sus condiciones de limpieza	Debe ser de un material liviano y resistente al transporte.	Material resistente y baja densidad (aluminio, aleaciones)	Liviano y de bajo costo en el mercado
	Según su experiencia. ¿Qué criterios de diseño serían importantes a considerar para el diseño del prototipo limpiador de paneles solares y así demostrar sus condiciones de limpieza?	Debe considerarse su peso, ángulo de movimiento y tamaño.	Criterios: resistencia, ergonomía fácil montaje y desmontaje, resistencia fatiga, ecología, rigidez, etc.	Aplicar normatividad pertinente.
	¿sabe usted cuanto de porcentaje se pierde de potencia o de energía debido a la suciedad de los paneles solares?	Se pierde un 10% de la energía debido a la suciedad que presenta los paneles solares.	La potencia de energía que se pierde en su captación por la suciedad es de 25 %.	Un 20% de la energía que puede ser aprovechada se pierde por la suciedad de los paneles solares.



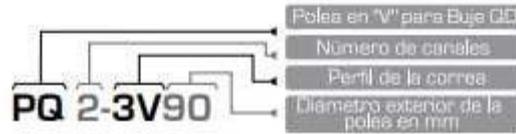
FACTORES DE SERVICIO TÍPICOS

TIPOS DE MÁQUINAS O EQUIPOS	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopladores y aspiradores Transportadores de trabajo ligero Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza	1.1	1.2	1.3
Transportadores de banda para arena, grava, etc. Bombas rotativas de desplazamiento positivo Máquinas herramientas Maquinaria de lavandería Mezcladores de masa Ejes de línea Generadores Maquinaria de imprenta Taladros-prensas-cortadores Cribas giratorias y vibratorias Ventiladores de mas de 10 caballos de fuerza	1.2	1.3	1.4
Maquinaria para aserrios y trabajos en madera Transportadores (arrastre o tornillo) Compresores de pistón Molinos de martillo Pulverizadores Excitadores Maquinaria textil Bombas de pistón Elevadores cangilones Maquinaria para ladrillos Sopladores de desplazamiento positivo	1.4	1.5	1.6
Trituradoras (giratorias-mandibula-rodillo) Extrusoras-molinos de caucho Molinos de bolas Malacates	1.5	1.6	1.8

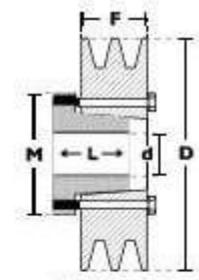
3V**TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)**

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)									
	55	60	65	67	70	75	80	85	90	105
100	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,27	0,33
200	0,16	0,20	0,24	0,27	0,31	0,35	0,39	0,43	0,50	0,61
300	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,50	0,55	0,62	0,72	0,88
400	0,28	0,35	0,42	0,48	0,55	0,64	0,71	0,80	0,93	1,14
500	0,34	0,42	0,50	0,58	0,67	0,78	0,88	0,97	1,13	1,38
575	0,37	0,47	0,56	0,66	0,76	0,88	0,97	1,10	1,28	1,57
600	0,38	0,48	0,58	0,68	0,79	0,91	1,00	1,14	1,33	1,63
650	0,43	0,54	0,65	0,76	0,88	1,00	1,10	1,25	1,46	1,80
700	0,43	0,55	0,66	0,77	0,89	1,04	1,15	1,30	1,52	1,88
725	0,44	0,56	0,68	0,80	0,91	1,07	1,18	1,34	1,57	1,92
800	0,47	0,60	0,73	0,86	0,99	1,15	1,30	1,45	1,70	2,10
870	0,50	0,64	0,78	0,92	1,06	1,24	1,38	1,56	1,83	2,25
900	0,52	0,66	0,80	0,95	1,10	1,28	1,42	1,60	1,90	2,32
950	0,54	0,69	0,84	0,99	1,14	1,34	1,50	1,68	1,99	2,43
1000	0,56	0,72	0,87	1,03	1,20	1,40	1,55	1,75	2,07	2,54
1100	0,59	0,77	0,94	1,10	1,28	1,50	1,68	1,90	2,24	2,78
1150	0,62	0,80	0,98	1,16	1,34	1,58	1,75	2,00	2,35	2,90
1200	0,63	0,82	1,00	1,19	1,38	1,62	1,80	2,05	2,40	2,98
1300	0,66	0,87	1,07	1,27	1,47	1,73	1,93	2,20	2,58	3,20
1400	0,70	0,91	1,13	1,35	1,56	1,84	2,05	2,33	2,75	3,40
1450	0,71	0,93	1,15	1,38	1,58	1,87	2,08	2,37	2,80	3,45
1500	0,73	0,96	1,20	1,42	1,63	1,92	2,12	2,42	2,85	3,50
1600	0,75	1,00	1,25	1,50	1,73	2,05	2,30	2,55	3,07	3,80
1700	0,79	1,05	1,30	1,58	1,82	2,15	2,40	2,74	3,23	4,00
1750	0,80	1,07	1,33	1,60	1,86	2,20	2,45	2,80	3,30	4,10
1800	0,82	1,09	1,36	1,63	1,90	2,25	2,52	2,87	3,40	4,20
1900	0,84	1,13	1,42	1,70	1,98	2,35	2,63	3,00	3,54	4,38
2000	0,87	1,17	1,47	1,77	2,06	2,45	2,74	3,12	3,70	4,52
2100	0,90	1,20	1,52	1,83	2,14	2,54	2,85	3,25	3,84	4,75
2200	0,92	1,25	1,57	1,90	2,20	2,64	2,95	3,37	4,00	4,84
2300	0,94	1,28	1,62	1,98	2,30	2,73	3,05	3,50	4,13	5,10
2400	0,96	1,32	1,67	2,02	2,36	2,82	3,15	3,60	4,27	5,25
2500	0,98	1,35	1,70	2,07	2,41	2,90	3,25	3,72	4,40	5,45
2600	1,00	1,38	1,75	2,13	2,50	3,00	3,35	3,83	4,54	5,63
2700	1,02	1,42	1,80	2,20	2,57	3,08	3,45	3,94	4,68	5,80
2800	1,04	1,45	1,85	2,24	2,64	3,16	3,54	4,05	4,80	5,98
2850	1,05	1,48	1,87	2,27	2,67	3,20	3,60	4,10	4,87	6,03
2900	1,06	1,48	1,89	2,30	2,70	3,24	3,64	4,16	4,93	6,10
3000	1,07	1,50	1,93	2,35	2,77	3,32	3,73	4,25	5,06	6,27
3200	1,10	1,56	2,00	2,45	2,90	3,47	3,90	4,47	5,30	6,57
3400	1,13	1,60	2,08	2,55	3,00	3,62	4,07	4,66	5,53	6,85
3450	1,14	1,62	2,10	2,57	3,04	3,65	4,10	4,70	5,59	6,88
3600	1,15	1,65	2,15	2,64	3,12	3,75	4,23	4,85	5,75	7,12
3800	1,17	1,70	2,20	2,72	3,23	3,90	4,38	5,02	5,95	7,37
4000	1,20	1,73	2,27	2,80	3,33	4,02	4,52	5,20	6,16	7,60
4200	1,20	1,77	2,33	2,88	3,42	4,13	4,66	5,34	6,34	7,83
4400	1,21	1,80	2,35	2,95	3,50	4,24	4,75	5,50	6,50	8,00
4500	1,21	1,82	2,42	3,00	3,58	4,35	4,90	5,63	6,67	8,22
4800	1,21	1,84	2,46	3,07	3,66	4,44	5,00	5,75	6,82	8,38
5000	1,21	1,86	2,50	3,12	3,73	4,53	5,10	5,87	6,95	8,53
5200	1,20	1,87	2,52	3,16	3,80	4,60	5,20	5,97	7,07	8,66
5400	1,19	1,87	2,55	3,20	3,85	4,68	5,28	6,08	7,18	8,77
5600	1,17	1,86	2,55	3,24	3,90	4,74	5,36	6,15	7,27	8,86
5800	1,15	1,87	2,58	3,28	3,93	4,80	5,42	6,22	7,35	8,93
6000	1,13	1,87	2,59	3,29	3,96	4,84	5,47	6,27	7,40	8,98
6200	1,10	1,86	2,60	3,30	3,99	4,87	5,50	6,32	7,45	9,00
6400	1,07	1,84	2,59	3,31	4,00	4,90	5,54	6,35	7,48	9,01
6600	1,04	1,82	2,57	3,31	4,01	4,90	5,55	6,37	7,49	8,99
6800	1,00	1,79	2,56	3,30	4,01	4,92	5,57	6,38	7,48	8,94
7000	0,96	1,76	2,54	3,30	4,01	4,92	5,58	6,37	7,46	8,87

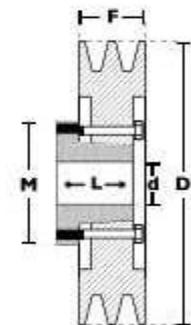
Nomenclatura para poleas con Buje GD



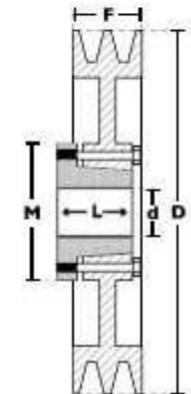
Diámetro Exterior (D)		Referencia Polea	Ref. Buje	Hueco máximo con cuñero estándar (d)		Longitud del Buje en mm (L)	Diámetro del buje en mm (M)	Modelo	Peso sin Buje en Lb
pulg	mm			mm	pulg				
2.2	55	PQ 2-3V55	JA	25.4	1	27	50	T1	0.9
2.3	60	PQ 2-3V60	JA	25.4	1	27	50	T1	1.0
2.5	65	PQ 2-3V65	JA	25.4	1	27	50	T1	1.2
2.6	67	PQ 2-3V67	JA	25.4	1	27	50	T1	1.3
2.8	70	PQ 2-3V70	JA	25.4	1	27	50	T1	1.4
3.0	75	PQ 2-3V75	JA	25.4	1	27	50	T1	1.6
3.1	80	PQ 2-3V80	JA	25.4	1	27	50	T1	1.8
3.3	85	PQ 2-3V85	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.0
3.6	90	PQ 2-3V90	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.4
3.9	100	PQ 2-3V100	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.6
4.1	105	PQ 2-3V105	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.7
4.3	110	PQ 2-3V110	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.8
4.5	115	PQ 2-3V115	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.9
4.7	120	PQ 2-3V120	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.1
5.0	125	PQ 2-3V125	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	3.6
5.1	130	PQ 2-3V130	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	4.3
5.3	135	PQ 2-3V135	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	4.5
5.6	140	PQ 2-3V140	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	5.0
6.0	150	PQ 2-3V150	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	5.5
6.3	160	PQ 2-3V160	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	5.8
6.5	165	PQ 2-3V165	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.2
6.7	170	PQ 2-3V170	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.4
6.9	175	PQ 2-3V175	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.6
7.0	180	PQ 2-3V180	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.7
7.5	190	PQ 2-3V190	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.8
8.0	200	PQ 2-3V200	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T3	7.0
9.0	230	PQ 2-3V230	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	7.9
9.9	250	PQ 2-3V250	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	8.7
10.6	270	PQ 2-3V270	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	10.0
11.0	280	PQ 2-3V280	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	10.4
11.8	300	PQ 2-3V300	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	13.5
12.5	320	PQ 2-3V320	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	14.3
13.7	350	PQ 2-3V350	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	15.7
14.0	355	PQ 2-3V355	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	16.0
15.7	400	PQ 2-3V400	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	18.0
19.0	485	PQ 2-3V485	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	25.0
25.0	635	PQ 2-3V635	SF	57.1	2-1/4	52	120	T3	28.0



Modelo T1

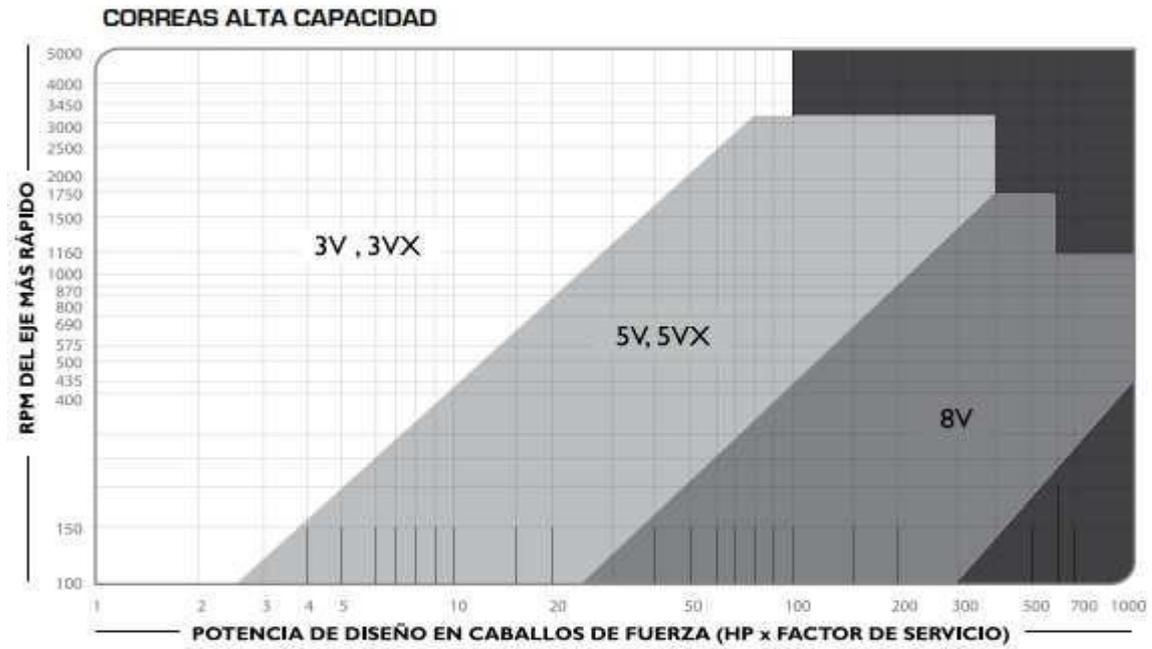


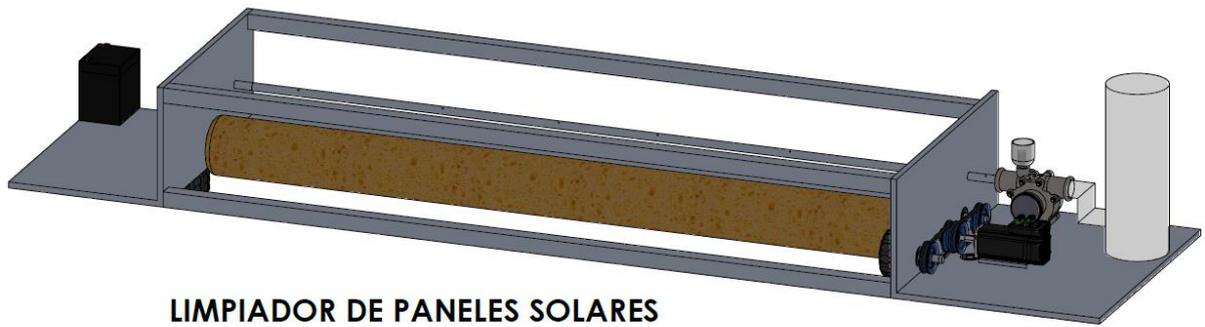
Modelo T2



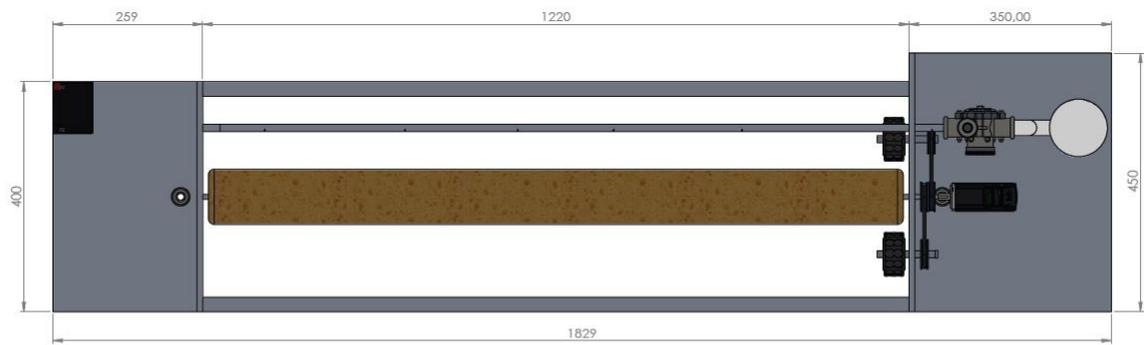
Modelo T3

TABLAS PARA SELECCIONAR EL TIPO O PERFIL DE LA CORREA

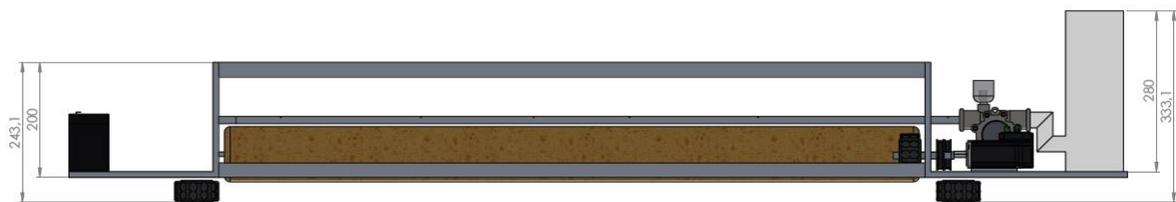




LIMPIADOR DE PANELES SOLARES



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

N.º	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Placa 1	1
2	Parantes	4
3	Placa 2	1
4	Rodillo limpiador	1
5	Polea doble	1
6	Llantas	4
7	Pasador de poleas	2
8	Polea simple	2
9	Tubo de admision de agua	1
10	Sistema de agua	1
11	Rodamiento SKF - 6201 - 8,SI,NC,8 68	4
12	Rodamiento SKF - 608 - 8,SI,NC,8 68	2
13	Bateria 4Ah	1
14	Mesa	1
15	Correa 1	1
16	Correa 2	1
17	Servomotor	1

