



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y
USO INTEGRAL DEL AGUA**

**CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE ROBOT AGRÍCOLA Y
PROPUESTA DE DISEÑO DEL CENTRO DE CARGA
FOTOVOLTAICA**

**TESIS QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA**



APROBADA



PRESENTA:

MÓNICA ELIZABETH BERROCAL AGUILAR

BAJO LA SUPERVISIÓN DE:

DR. NOÉ VELÁZQUEZ LÓPEZ

Chapingo, México, diciembre de 2023.

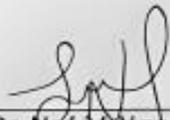


**CARACTERIZACIÓN DE UN ROBOT AGRÍCOLA Y PROPUESTA DE
DISEÑO DEL CENTRO DE CARGA FOTOVOLTAICA.**

Tesis realizada por Mónica Elizabeth Berrocal Aguilar bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Director:



Dr. Noé Velázquez López

Asesor:



Dr. Gilberto de Jesús López Canteñis

Asesor:



Dr. Agustín Ruiz García

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de ser parte de su grandiosa casa de estudios y brindarme paz en sus jardines.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca para realizar la maestría.

Al departamento de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua por guiarme en todo momento.

A mi comité asesor de tesis el Dr. Noé Velázquez López, al Dr. Gilberto de Jesús López Canteñs y al Dr. Agustín Ruíz García por su apoyo, comprensión y amabilidad.

DEDICATORIA

A mis padres María de Lourdes y René por todo su amor incondicional, todo se lo agradezco a ustedes.

Al Arq. Rolando Rodríguez Espinoza por ser mi inspiración todos los días a seguir luchando por mis sueños.

A mis hermanas y sobrinos que me han alentado toda su vida a no rendirme.

A mis compañeros del equipo de Voltan 2023 por su apoyo en todo momento, así como gracias a todos los que me brindaron su ayuda.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Mónica Elizabeth Berrocal Aguilar

Fecha de nacimiento: 27/08/1997

Lugar de nacimiento: Texcoco, Estado de México.

CURP: BEAM970897MMCRGN01

Profesión: Ing. En Energías Renovables

Cédula profesional: 12557947



Desarrollo académico

Bachillerato

Plantel Texcoco de la Escuela
Preparatoria de la Universidad
Autónoma del Estado de México.

Licenciatura

Tecnológico de Estudios Superiores
de Chicoloapan.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	14
1.1 Justificación	15
1.1 Hipótesis	15
1.2 Objetivo general	15
1.2.1 Objetivos específicos	15
1.3 Organización de la tesis	16
1.4 Literatura citada	16
2. Revisión bibliográfica	17
2.1 Definición de robot agrícola	17
2.2 Perspectiva de la energía solar aplicada en robots agrícolas	17
2.3 Robots agrícolas alimentados por paneles solares	17
2.4 Robot agrícola en México	19
2.5 Literatura citada	21
3. ARTÍCULO 1	23
3.1 Resumen	23
3.2 Abstract	24
3.3 Introducción	25
3.4 Materiales y métodos	26
3.5 Resultados y discusión	32
3.6 Conclusión	36
3.7 Referencias	37
4. ARTÍCULO 2	38
4.1 Resumen	38
4.2 Abstract	39
4.3 Introducción	40
4.4 Materiales y métodos	42
4.4.1 Desarrollo de la propuesta	42

4.4.2	Análisis de la situación actual	42
4.4.3	Ubicación y características	43
4.4.4	Radiación solar en México	43
4.4.5	Aplicación de caso dispositivos de CA	44
4.4.6	Dimensionamiento del regulador	46
4.4.7	Amperaje del regulador MPPT	47
4.4.8	Dimensionamiento del inversor	47
4.4.9	Dimensionamiento del sistema de acumulación	48
4.4.10	Descripción técnica del sistema fotovoltaico CA	49
4.4.11	Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico CA	50
4.4.12	Aplicación de caso CD	51
4.4.13	Cálculo del controlador	53
4.4.14	Descripción técnica del sistema fotovoltaico CD	53
4.4.15	Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico CD	54
4.5	Diseño del centro de carga	54
4.5.1	Distribución del centro de carga	59
4.5.2	Cuantificación del centro de carga	59
4.5.3	Cuantificación del remolque	60
4.6	Conclusión	61
4.7	Referencias	62
5.	DIFICULTADES Y RECOMENDACIONES	64
5.1	Dificultades	64
5.2	Recomendaciones	64
6.	ANEXOS	66
6.1	Carátula de la Norma Oficial Mexicana NMX-O-233-SCFI-2015	66
6.2	Ficha técnica del panel solar para CD	67
6.3	Ficha técnica del panel solar para CA	68
6.4	Ficha técnica de la batería de litio	69
6.5	Ficha técnica del controlador de carga	70

6.6	Ficha técnica del regulador de carga.....	72
6.7	Simulación en PVSYST	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Propuestas de diseño de centros de carga fotovoltaica.	20
Cuadro 3.1 Tiempo de carga de batería1.	32
Cuadro 3.2 Tiempo de carga de batería 2.	32
Cuadro 3.3 Resultados de la prueba de patinaje.	33
Cuadro 3.4 Datos de la prueba de patinaje.	34
Cuadro 3.5 Cuantificación de la prueba de siembra.	35
Cuadro 3.6 Descarga de la batería en base a las pruebas en tiempo real.	36
Cuadro 4.1 Etapas en la propuesta de diseño	42
Cuadro 4.2 Radiación solar de Chapingo, datos obtenidos de la página de la NASA.	44
Cuadro 4.3 Estimación del consumo eléctrico de los dispositivos en Wh/día... ..	44
Cuadro 4.4 Ficha técnica de los componentes seleccionados.....	49
Cuadro 4.5 Estimación del consumo eléctrico de los motores en Wh/día.	52
Cuadro 4.6 Ficha técnica de las baterías de litio.	52
Cuadro 4.7 Ficha técnica de los componentes seleccionados	53
Cuadro 4.8 Cuantificación de los componentes del sistema fotovoltaico de Corriente Alterna.	59
Cuadro 4.9 Cuantificación de los componentes del sistema fotovoltaico de Corriente directa.	59
Cuadro 4.10 Cuantificación de la lámina galvanizada para remolque.	60
Cuadro 4.11 Cuantificación de perfiles para remolque.	60
Cuadro 4.12 Cuantificación del centro de carga fotovoltaica.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Robot segadora (Bellini, 2022).	18
Figura 2.2 Robot Farmdroid FD20, (Martin Olmos, 2022).....	18
Figura 2.3 Robot SunScout Pro, (Santos, 2023).....	19
Figura 2.4 Robot Voltan con implemento de siembra.	20
Figura 2.5 Robot Voltan con implemento de aspersión (Cultiva Futuro, 2023). 20	
Figura 3.1 Procedimiento para medir la fuerza de tracción y patinaje.	26
Figura 3.2 Diagrama de la prueba de tracción.	26
Figura 3.3 a) Dos ejes y sin fuerza vertical; b) Un eje y fuerza vertical.....	27
Figura 3.4 Robot agrícola con remolque dinamométrico. 1) Cuerpo principal, 2) Ruedas de tracción, 3) Caja de electrónicos, 4) Celda de carga, 5) Enganche, 6) Regulación de alturas, 7) Adquisición de datos, 8) Frenos en los dos ejes, 9) Lugar para la colocación de lastre.	27
Figura 3.5 Amperímetro de gancho marca Steren.	28
Figura 3.6 Sistema mecánico del robot Voltan agrícola.	29
Figura 3.7 Motor eléctrico de reducción de engranajes CC de 250W.	30
Figura 3.8 Baterías recargable sellada de plomo de 12 V a 12Ah.	30
Figura 3.9 Celda de carga acoplada entre el robot y el remolque.	30
Figura 3.10 Diseño experimental de la parcela de prueba de siembra.	31
Figura 3.11 Baterías recargable sellada de plomo de 12 V a 26Ah.	31
Figura 3.12 Robot con implemento de sembradora en la prueba de siembra. .	31
Figura 3.13 Diagrama del abresurco del implemento de sembradora.	32
Figura 3.14 Patinaje de la prueba de tracción.....	33
Figura 3.15 Relación de corriente vs fuerza en la prueba de tracción.	34
Figura 3.16 Prueba de siembra terminada.....	36
Figura 4.1 Potencial fotovoltaico en México obtenido de Global Solar Atlas (2020).	43

Figura 4.2 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico CA.....	51
Figura 4.3 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico CD.	54
Figura 4.4 Vista 3D del remolque para el centro de carga fotovoltaica aislado con los paneles solares sin desplegar.	55
Figura 4.5 Vista 3D del remolque para el centro de carga fotovoltaica aislado con los paneles solares desplegados.	55
Figura 4.6 Isométrico del remolque para el centro de carga fotovoltaica aislado.	56
Figura 4.7 Planta del remolque para el centro de carga fotovoltaica aislada.	56
Figura 4.8 Corte longitudinal del remolque para el centro de carga.....	57
Figura 4.9 Vista 3D en sección del remolque con los componentes del centro de carga fotovoltaica aislado con paneles desplegados.	57
Figura 4.10 Funcionamiento del centro de carga fotovoltaica.....	58

Caracterización eléctrica de robot agrícola y propuesta de diseño del centro de carga fotovoltaica

Berrocal-Aguilar Mónica Elizabeth¹; Velázquez-López Noé²

RESUMEN

Actualmente los llamados robots agrícolas han logrado tener importancia principalmente en países de primer mundo, se están desarrollando para un sinnúmero de actividades destinadas a la agricultura de precisión para obtener nuevas tecnologías como herramientas de apoyo al hombre. México toma la iniciativa de contribuir con ese tipo de tecnología, estableciendo la necesidad de la experimentación para mejorar el sistema con el que cuenta la Universidad Autónoma Chapingo. Por ello, el presente trabajo es una propuesta de diseño para un centro de carga fotovoltaica de un robot agrícola. En primer lugar, como uno de los objetivos específicos era revisar e inspeccionar las características de alimentación del robot, para conocer sus necesidades, en base a una prueba de tracción tomando como referencia la metodología descrita en la Norma mexicana NMX-O-233-SCFI-2019, ya que no existen normativas para robots, la cual fue realizada en las instalaciones del Centro Nacional de Estandarización Maquinaria Agrícola (CENEMA). Con ello, se midió la fuerza con la que el robot puede tirar o mover objetos para diferentes velocidades; además, se agregaron mediciones de consumo de corriente en todo momento de la prueba.

La finalidad de este estudio es comprender y analizar el consumo energético del robot para calcular el tiempo aproximado que puede trabajar. Esta información es crucial para diseñar el centro carga fotovoltaica para que pueda abastecer energía a los agricultores en las parcelas, lo que es fundamental para su utilidad práctica en entornos agrícolas. El propósito final es ayudar a los campesinos proporcionando una solución energética sostenible y adecuada a sus necesidades. Los resultados obtenidos es que la propuesta de diseño del centro de carga fotovoltaica sea de tipo aislada, para la recarga de los componentes que requiere el robot en sus actividades como el uso de computadoras, bocina, celulares y recarga de baterías para su propio funcionamiento, sin tener que depender de energías convencionales garantizando labores de trabajo prolongados.

Palabras clave: *tracción, robot agricultor, consumo energético, centro de carga fotovoltaica aislada.*

Tesis de Maestría en Ingeniería, Programa en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo.

¹ Autor de tesis, ² Director de tesis

Electrical Characterization of Agricultural Robot and Proposal for Photovoltaic Charging Center Design

Berrocal-Aguilar Mónica Elizabeth¹; Velázquez-López Noé²

ABSTRACT

Currently, agricultural robots have achieved significance primarily in first-world countries, undergoing development for a multitude of activities aimed at precision farming to obtain new technologies as tools to support human efforts. Mexico takes the initiative to contribute to this type of technology, establishing the need for experimentation to enhance the system at the Universidad Autónoma Chapingo. Therefore, this work presents a design proposal for a photovoltaic charging center for an agricultural robot. One of the specific objectives was to review and inspect the power characteristics of the robot to understand its needs. This was based on a traction test using the methodology described in the Mexican Standard NMX-O-233-SCFI-2019, as there are no regulations specifically for robots. The test was conducted at the National Center for Agricultural Machinery Standardization (CENEMA). The force with which the robot can pull or move objects at different speeds was measured, and current consumption measurements were taken throughout the entire test.

The purpose of this study is to comprehend and analyze the robot's energy consumption to calculate its approximate working time. This information is crucial for designing the photovoltaic charging center to supply energy to farmers in the fields, which is fundamental for its practical utility in agricultural environments. The goal is to assist farmers by providing an adequate and sustainable energy solution tailored to their needs. The obtained results suggest that the proposed design of the photovoltaic charging center should be isolated, catering to the recharge needs of the robot's components, such as computers, speakers, cell phones, and battery recharging for its own operation. This ensures prolonged working tasks without dependency on conventional energy sources.

Keywords: *traction, agricultural robot, energy consumption, isolated photovoltaic charging center.*

Tesis de Maestría en Ingeniería, Programa en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo.

¹ Autor de tesis ² Director de tesis

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Una rama de la robótica que ha tomado mucha fuerza es la robótica agrícola. Esta permite realizar cultivos a la intemperie, cultivos en ambientes estructurados tales como invernaderos, hidropónicos, aeropónicos e incluso una de las últimas tendencias que son los cultivos urbanos que permiten la siembra en fachadas, azoteas, paredes verticales, techos y otros. La combinación de los sistemas robóticos con los sistemas de generación de energía solar permite una serie de beneficios como el desarrollo de operaciones que contribuyen con el medio ambiente y aumentando las posibilidades de aplicación, es decir, que se encuentran en lugares remotos, donde no se han extendido las redes eléctricas, permitiendo sistematizar estos procesos y aumentando su rentabilidad (Mejía *et al.*, 2017).

De acuerdo con Jens *et al.* (2023); González *et al.* (2015) y O. Spykman *et al.* (2021) el sector agrícola depende en gran medida de la disponibilidad de mano de obra, actualmente existe una escasez de mano de obra y aumento de los costos laborales en los sectores alimentario y agrícola a nivel mundial. Los robots agrícolas no solo presentan una solución para fortalecer los sistemas agroalimentarios al abordar la escasez de mano de obra, sino que también brindan la oportunidad de reducir las emisiones de CO₂ y la compactación del suelo.

Para Pickerel (2018) los sistemas fotovoltaicos son una tecnología solar activa para esbozar una solución parcial para los problemas ambientales causados por la aceleración del gasto energético actual, la producción de energía eléctrica fotovoltaica es factible, económicamente viable, ambientalmente benigno, sostenible y socialmente equitativo que brinda una solución confiable de energía verde. El presente protocolo de investigación presenta una propuesta teórica de diseño de un centro de carga con energía solar fotovoltaica aislada para alimentar a un robot destinado a actividades agrícolas.

1.1 Justificación

La combinación de los sistemas robóticos con los sistemas de generación de energía solar da paso al desarrollo de operaciones que contribuyen con el medio ambiente. La energía solar fotovoltaica es predecible, fiable y con una alta correlación de generación en el tiempo con las necesidades de la agricultura (regadío, actividad de los cultivos), lo cual la hace muy adecuada para el sector. Al igual que en el almacenamiento de energía, la tecnología de baterías está evolucionado de forma rápida, abaratando los costes y mejorando las prestaciones (Molina, 2021).

Hernán (2021) informa que, en los últimos años, en materia de innovación en el sector agrícola mundial, se pretende que en los próximos años el cambio tecnológico será abrupto y tendrá un impacto revolucionario. Los robots están cambiando los métodos de cultivo que están dejando de ser procesos conservadores para ser más predictivos poniendo a la inteligencia artificial al servicio de la agricultura con el fin de construir un sistema alimentario más sostenible, resiliente y productivo que ofrezca la tan necesaria seguridad alimentaria mundial.

1.1 Hipótesis

Con la implementación de un centro de carga de almacenamiento de energía solar fotovoltaica para alimentar un robot agrícola, aumentan la posibilidad de aplicación en los sistemas aislados, es decir, que actualmente no está muy desarrollado la fusión de la robótica alimentada por energías alternativas.

1.2 Objetivo general

Diseñar un centro de carga fotovoltaica para alimentar un robot con aplicaciones agrícolas.

1.2.1 Objetivos específicos

- Revisar e inspeccionar las características de alimentación del robot.
- Determinar la energía de irradiación solar en Chapingo.

- Calcular y dimensionar el sistema fotovoltaico.
- Seleccionar el tipo y número de paneles fotovoltaicos.
- Analizar y evaluar el óptimo funcionamiento de alimentación al robot.

1.3 Organización de la tesis

Esta tesis está organizada con seis capítulos, incluyendo el presente; en el capítulo dos se presenta una revisión bibliográfica, en el capítulo tres se presenta la investigación realizada sobre la caracterización del robot agrícola en forma de artículo científico, en el capítulo cuatro se presenta la propuesta de diseño de un centro de carga fotovoltaica aislada para el robot agrícola en forma de artículo científico, en el capítulo cinco se presentan las dificultades y recomendaciones y en el capítulo final se presentan los anexos.

1.4 Literatura citada

Gonzalez S, Emmi I, Garcia P , & Gonzalez S . (2015). Reducing fuel consumption in weed and pest control using robotics tractors. *Comput Electron Agric.* doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.04.003>

Hernán, F. (2021). Los robots y la inteligencia artificial en la agricultura moderna.

Jens , E., Tseganesh , W., Soren , M., Harold , Harold , S., Veldhuisen , B., & Hilbrands , H. (2023). Optimal use of agricultural robot in arable crop rotation: A case study from the Netherlands. *Smart Agricultural Technology*(5). doi:<https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100261>

Mejía B, D., Riaño J, C., & Peña C, C. (2017). Sistema solar para la operación de un robot agrícola. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 1(27), 33-39. doi:[10.24054/16927257.v27.n27.2016.2533](https://doi.org/10.24054/16927257.v27.n27.2016.2533)

Molina, J. L. (2021). *El futuro de la energía en la agricultura*.

O. Spykman, M. Gandorfer , A. Gabriel , M. Ptacek , & M. Gandorfer . (2021). Farmers´ perspectives on field crop robots. Evidence from Bavaria, Germany. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106176>

2. Revisión bibliográfica

2.1 Definición de robot agrícola

Varios autores han descrito las características de los robots agrícolas, pero no existe una definición ampliamente aceptada. Sin embargo, Lowenberg-DeBoer *et al.* (2019) define a un “robot de cultivos de campo” como un dispositivo mecánico, móvil, autónomo, que toma decisiones y que realiza tareas de producción de cultivo (por ejemplo, preparación de suelo, siembra, trasplante, deshierbe, control de plagas y cosecha) bajo supervisión humana, pero sin mano de obra humana directa.

2.2 Perspectiva de la energía solar aplicada en robots agrícolas

O. Spykman *et al.* (2021) sustentan que la energía solar se incorpora en el desarrollo de robots de cultivo para aumentar aún más su autonomía en el campo, reduciendo así la necesidad de combustibles fósiles. Si bien esta tendencia está respaldada por el costo del almacenamiento en baterías que han disminuido continuamente durante la última década y que se espera que disminuya más, la cuestión es que depende de las horas de sol durante periodos críticos que puede limitar esta aplicación en algunas regiones.

2.3 Robots agrícolas alimentados por paneles solares

La empresa francesa Vitirover ha desarrollado una segadora robotizada accionada por energía fotovoltaica para aplicaciones en viñedos y otros campos agrícolas. El dispositivo de 20 W se basa en células solares policristalinas, una batería y la optimización del regulador de carga tipo Seguidor de Punto de Máxima Potencia por sus siglas en inglés *MPPT*. El sistema también utiliza un software de gestión de la movilidad que le ayuda a detectar los obstáculos para acercarse lo máximo posible -menos de 1 cm- y cortar la hierba a su alrededor. Un sistema de rastreo Sistema de Posicionamiento Global por sus siglas en inglés *GPS* con 15 días de autonomía de la batería integrada en el robot garantiza la seguridad antirrobo (Bellini, 2022).



Figura 2.1 Robot segadora (Bellini, 2022).

Farmdroid FD20 fue construido por la empresa francesa Stecomat Sarl, es un robot autónomo alimentado por paneles solares que, mediante señales GPS RTK, registra la ubicación de cada semilla en cada hilera en el momento de la siembra y luego realiza el control mecánico de las malezas entre hileras. Este robot puede sembrar y desherbar 20 hectáreas por temporada. Además, tiene la capacidad de manejar varios cultivos y semillas diferentes, moviéndose fácilmente entre campos con diferentes cultivos (Martín Olmos , 2022).



Figura 2.2 Robot Farmdroid FD20, (Martin Olmos, 2022).

SunScout Pro fue construido por un equipo de Massey AgriFood Digital Lab de la Universidad de Massey es un robot corta césped alimentado por paneles fotovoltaicos integrados que cargan una batería de litio-hierro-fosfato de 20Ah. Tritura la hierba a una velocidad de 50 metros por minuto, cubriendo una superficie de 1,200 metros cuadrados por carga (Santos, 2023).



Figura 2.3 Robot SunScout Pro, (Santos, 2023).

La empresa Wall-YE ha desarrollado el robot Myce-Agriculture que opera para abonar plantas pequeñas en campos planos, siendo funcional para sembrar, asperjar, desmalezar y cosechar. Su sistema cuenta con navegación artificial, cuatro ruedas, paneles solares para ampliar su autonomía en el campo y contienen un conjunto de herramientas para diferentes tareas agrícolas (Gil , Casagrandeb , Pérez C, & Verschae R, 2023).



Figura 2.3.4 Myce-Agriculture, (Gil *et al.*, 2023).

2.4 Robot agrícola en México

La Universidad Autónoma Chapingo ha creado a Voltan, un robot destinado a la agricultura que puede realizar diferentes actividades en base a sus implementos como siembra, aspersión y aplicación de fertilizante, su sistema está integrado por navegación artificial, para identificación de maleza por medio de visión artificial. Este proyecto de investigación está destinado para pequeñas parcelas

(Vidal, 2023). El implemento de la sembradora fue desarrollado por Velázquez *et al.* (2021) puede depositar semilla a chorrillo a diferente distancia y profundidad (Figura 2.1).



Figura 2.4 Robot Voltan con implemento de siembra.



Figura 2.5 Robot Voltan con implemento de aspersión (Cultiva Futuro, 2023).

Cuadro 2.1 Propuestas de diseño de centros de carga fotovoltaica.

No.	Autor/autores	Año	Trabajo realizado
-----	---------------	-----	-------------------

1	Cordero	2020	La propuesta es una estación estándar de carga eficiente para bicicletas eléctricas.
2	Carmona <i>et al.</i>	2022	Diseño de una red de estaciones de servicio para recarga de vehículos eléctricos (electrolineras) usando un sistema de energía fotovoltaica en los Lanos Orientales.
3	Méndez <i>et al.</i>	2023	Prototipo de estación de carga fotovoltaica para dispositivos portátiles.
4	Molina y Hernández	2020	Prototipo de estación de carga para baterías de aparatos electrónicos con energía renovable usando paneles solares.

2.5 Literatura citada

Bellini, E. (2022). Segadora robotizada con energía solar. PV Magazine.

Carmona , J., Fernández , A., & Melo , V. (2022). Diseño de una red de estaciones de servicio para recarga de vehículos eléctricos (electrolineras) usando un sistema de energía fotovoltaica en los Lanos Orientales. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACDFI, 1-10.

Cordero , P. (2020). Diseño de estaciones de carga solar para bicicletas eléctricas. Tecnología en marcha, 33, 36-53. doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5166>

Futuro, C. (2023). Voltan: La tecnología mexicana que automatiza la agricultura y potencia la productividad. Cultiva Futuro.

Gil , G., Casagrandeb , E., Pérez C, & Verschae R. (2023). Why the low adoption of robotics in the farms? Challenges for the establishment of commercial

agricultural robots . *Samrt Agricultural Technology* , 3. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100069>

Lowenberg-DeBoer , J., Huang , I., Grigoriadis , V., & Blackmore S. (2019). Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agriculture*, 21, 278-299. doi: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09667-5>

Martín Olmos , L. (2022). FARMDROID FD20, el robot autónomo para siembra y deshierbe mecánica. *Tecnología hortícola*.

Méndez , C., Dután , A., & Moscoso , S. (2023). Control para la operación de una estación de carga inteligente fotovoltaica. *Revista multidisciplinaria arbitrada de investigación científica*, 7(3). doi:<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.2579-2602>

Molina , M., & Hernández , H. (2020). Prototipo de estación de carga para baterías de aparatos electrónicos con energía renovable usando paneles solares. *Central American Journals*, 1(11). doi:<https://doi.org/10.5377/revunivo.v0i11.11336>

O. Spykman, M. Gandorfer , A. Gabriel , M. Ptacek , & M. Gandorfer . (2021). Farmers' perspectives on field crop robots. Evidence from Bavaria, Germany. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106176>

Santos, B. (2023). Nuevo robot cortacésped automático alimentado con fotovoltaica. *PV MAGAZINE*.

Velázquez L, N., & García H, R. (2021). Sembradora Eléctrica Multifuncional (Modelo de utilidad No. 4560 B). Instituto Mexicano de la propiedad Industrial (IMPI).

Vidal, M. (2023). Voltan, el robot agrícola que busca suplir la mano de obra en el campo mexicano. *La jornada*.

3. ARTÍCULO

CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE ROBOT AGRÍCOLA Y PROPUESTA DE DISEÑO DEL CENTRO DE CARGA FOTOVOLTAICA¹

3.1 Resumen

Este trabajo representa un paso crucial hacia el entendimiento de los robots agrícolas, marcando un hito en el proceso de prueba y evaluación. La prueba de tracción, llevada a cabo meticulosamente en las instalaciones del Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA), proporciona una visión profunda en las capacidades del robot agricultor desarrollado en la Universidad Autónoma Chapingo. La evaluación no se limitó a la mera observación de su fuerza física, sino que también incluyó mediciones detalladas del consumo de corriente en cada etapa de la prueba. Este enfoque meticuloso es esencial ya que, sorprendentemente no existen normativas internacionales que guíen el diseño y la evaluación de robots agrícolas. En ausencia de regulaciones estandarizadas a nivel global, el estudio se basó en la norma NMX-O-233-SCFI-2019, proporcionando un marco de referencia fundamental para la comunidad científica y tecnológica. Este trabajo no solo contribuye al conocimiento científico en el campo de la robótica agrícola, sino que también destaca la importancia de establecer estándares para futuras innovaciones en este campo. Esta iniciativa no solo beneficia a los investigadores y desarrolladores, sino que también establece una base sólida para la futura adopción de tecnologías agrícolas autónomas y eficientes a nivel mundial.

Palabras clave: robot agrícola, consumo de corriente, regulaciones estandarizadas, tecnología agrícola autónoma.

¹ Mónica Elizabeth Berrocal Aguilar

3.2 Abstract

This work represents a crucial step toward understanding agricultural robots, marking a milestone in the testing and evaluation process. The traction test, carried out meticulously at the facilities of the National Center for Agricultural Machinery Standardization (CENEMA), provides profound insights into the capabilities of the agricultural robot developed at the Autonomous University of Chapingo. The evaluation went beyond mere observation of its physical strength; it also included detailed measurements of current consumption at each stage of the test. This meticulous approach is essential since, surprisingly, there are no international regulations guiding the design and evaluation of agricultural robots. In the absence of standardized global regulations, the study relied on the NMX-O-233-SCFI-2019 standard, providing a fundamental framework for the scientific and technological community. This work not only contributes to scientific knowledge in the field of agricultural robotics but also highlights the importance of setting standards for future innovations in this field. This initiative benefits not only researchers and developers but also establishes a solid foundation for the future adoption of autonomous and efficient agricultural technologies worldwide.

Keywords: agricultural robotics, current consumption, setting standards, autonomous agricultural technologies.

3.3 Introducción

Para comenzar Zeng *et al.* (2020) define sobre el concepto de patinaje, este concepto está basado en tractores porque no existen normativas de este tipo en robots agrícolas, pero sirve como referencia y está dado por: La fuerza de tracción de un neumático corresponde a la fuerza horizontal generada por un tractor para hacer funcionar la herramienta del que tira.

El patinaje afecta directamente el rendimiento de labranza, así como en la deformación mecánica del suelo, es decir, en función de la profundidad de labranza y la velocidad de avance del vehículo. El porcentaje ideal de patinaje del tractor en el suelo puede oscilar entre 8-20% según el tipo de tracción del suelo (Villagrán-Mendoza *et al.*, 2023). La transmisión rueda/suelo es la que provoca el principal desaprovechamiento de energía (Moitzi *et al.*, 2014).

Las dos causas principales son: pérdidas por rodadura (debidas a la resistencia opuesta por el suelo al propio deslizamiento del vehículo). Y las pérdidas por patinamiento (manifestadas en una reducción de la velocidad real de avance, y, por lo tanto, una disminución en la superficie trabajada por unidad de tiempo).

Las pérdidas por patinamiento aumentan considerablemente cuando los esfuerzos de tracción solicitados al vehículo son altos en relación con su peso. Así cuando el patinamiento pasa del 10 al 25%, significa que desarrollando la misma potencia, el tractor realiza aproximadamente un 15% menos de trabajo, consumiendo el mismo combustible (García *et al.*, 2021). Para este caso, el dato de consumo energético en términos de potencia eléctrica no existe, de ahí la importancia de realizar esta evaluación.

Por todo lo anterior, el propósito de este trabajo fue conocer la fuerza de tracción y el consumo energético, mediante un remolque dinamométrico para determinar el tiempo de trabajo efectivo del robot.

3.4 Materiales y métodos

En primer lugar, se tomó como referencia el procedimiento de la norma NMX-O-233-SCFI-2019 y se adaptó el procedimiento (figura 3.1) junto con el diagrama siguiente (figura 3.2); donde los 3.98 m son el total teórico de 5 vueltas de rueda del robot con base en el perímetro de la llanta y los 27.8 m son la distancia total calculada de las vueltas del robot en 7 repeticiones.

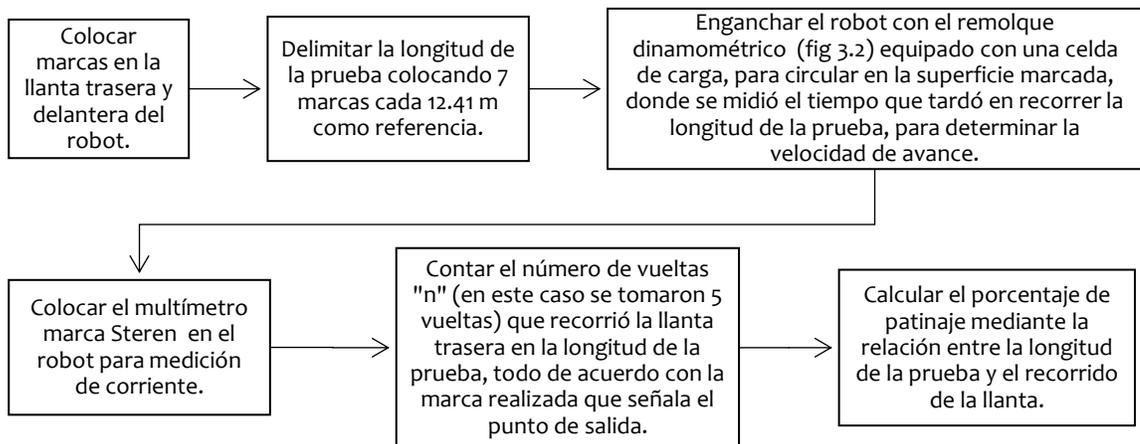


Figura 3.1 Procedimiento para medir la fuerza de tracción y patinaje.

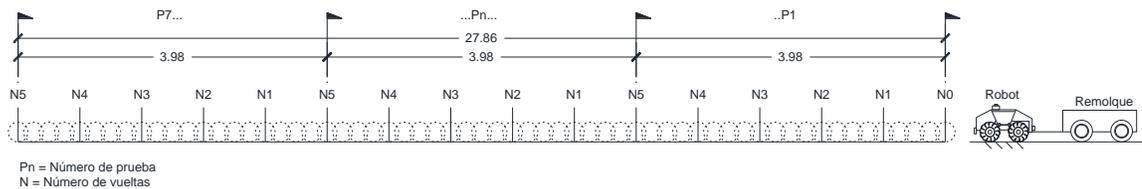


Figura 3.2 Diagrama de la prueba de tracción.

El remolque utilizado para la prueba de tracción es de tipo dinamométrico, está diseñado de manera que el sistema de tiro sea óptimo para enganchar el remolque a los vehículos o maquinarias agrícolas y para ello el remolque adecuado debe ser de dos ejes para conseguir anular la fuerza vertical (figura 3.3); en ese caso es relevante para obtener medidas correctas de fuerzas actuantes en el eje horizontal, reduciendo así la fuerza vertical a cero. Las características del remolque son las siguientes:

- Dimensiones: 3687 x 1578 x 1465 mm.

- Masa: 540 kg.
- Capacidad de carga: 1500 kg.

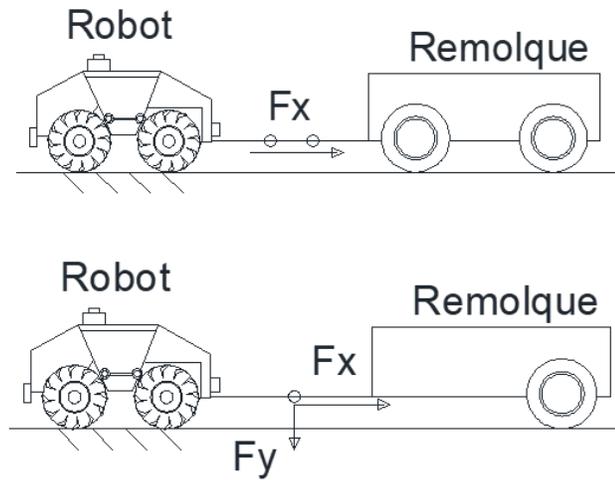


Figura 3.3 a) Dos ejes y sin fuerza vertical; b) Un eje y fuerza vertical.

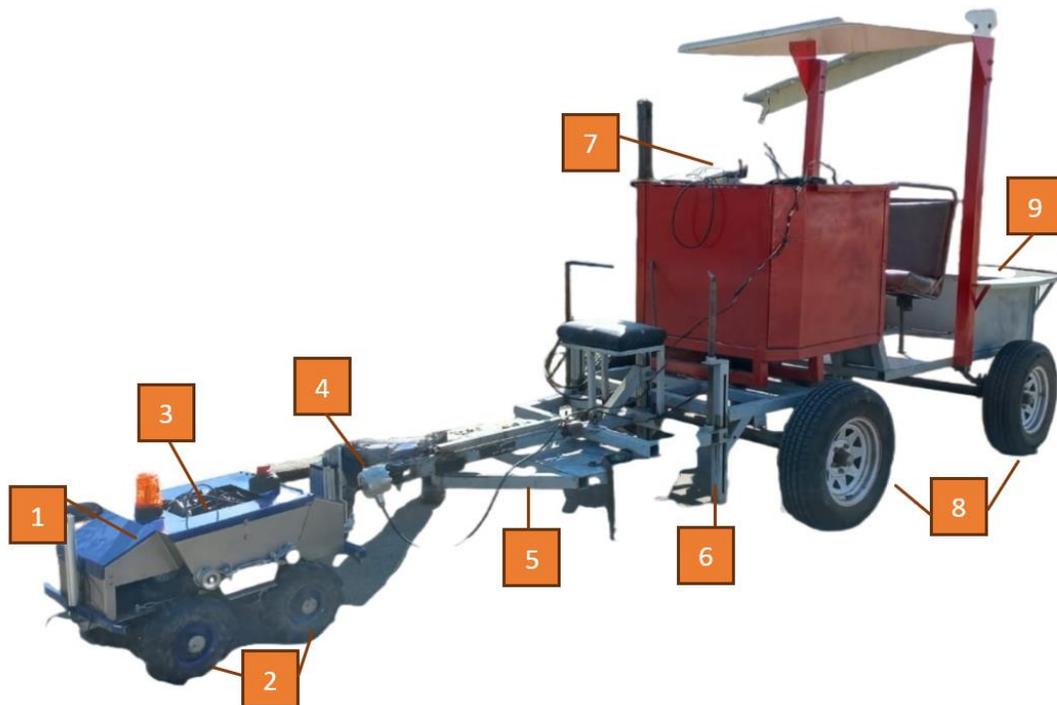


Figura 3.4 Robot agrícola con remolque dinamométrico. 1) Cuerpo principal, 2) Ruedas de tracción, 3) Caja de electrónicos, 4) Celda de carga, 5) Enganche, 6) Rueda delantera del remolque, 7) Cuerpo del remolque, 8) Rueda trasera del remolque, 9) Toldo del remolque.

Regulación de alturas, 7) Adquisición de datos, 8) Frenos en los dos ejes, 9) Lugar para la colocación de lastre.

El consumo de corriente se midió en todo momento de la prueba con un amperímetro de gancho profesional marca Steren (figura 3.5), el gancho se colocó en el cable positivo que conecta la batería del robot con los motores (figura 3.6 y 3.7). Para esta prueba se utilizaron dos baterías de 12 V 12 Ah conectadas en serie (figura 3.8), ambas baterías se cargaron y además se conectaron a un generador eléctrico durante la prueba para garantizar las mismas condiciones en toda la evaluación (figura 3.9). Para facilitar el procedimiento los datos y ecuaciones se desarrollaron en una hoja de cálculo Excel.



Figura 3.5 Amperímetro de gancho marca Steren.

El patinaje se calculó utilizando las siguientes ecuaciones:

La potencia de tracción es el producto del esfuerzo de tracción por la gravedad de avance. El patinaje se calcula de la siguiente manera.

$$Pa = \left(\frac{I_0 - I}{I_0} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

Pa = Patinaje, %

I_0 = Avance de la rueda motriz sin carga, (m).

I = Avance de la rueda motriz con carga, (m).

La fuerza de tiro se obtiene con el sistema de adquisición de datos y de acuerdo con la formula a continuación:

$$F = m * a \quad (2)$$

Donde:

F = Fuerza de tracción (N).

m = Masa (kg).

a = aceleración de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$).

Para obtener la velocidad de avance se obtuvo toando el tiempo de recorrido a una cierta distancia marcada en la pista de tracción, con apoyo de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{d}{t} \quad (3)$$

Donde:

v = velocidad de avance (km/h).

d = distancia recorrida (m).

t = tiempo en recorrer la distancia (s).

Se programaron tres velocidades: mínima de 0.76 m/s, media de 0.96 m/s y máxima de 1.2 m/s. Para cada velocidad se realizaron 7 repeticiones. Además, se tuvieron 3 condiciones de carga en cada velocidad de: 710 kg, 925 kg y 1283 kg.

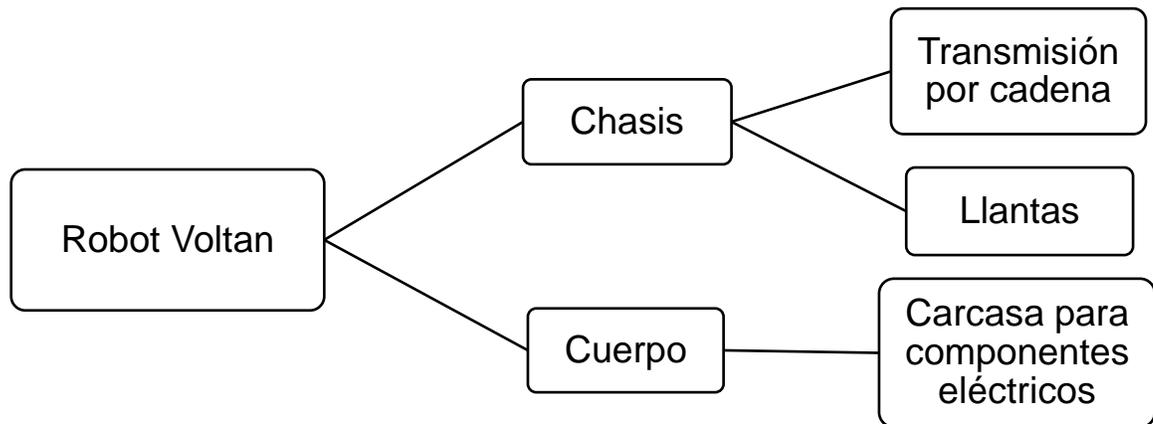


Figura 3.6 Sistema mecánico del robot Voltan agrícola.



Figura 3.7 Motor eléctrico de reducción de engranajes CC de 250W.



Figura 3.8 Baterías recargable sellada de plomo de 12 V a 12Ah.



Figura 3.9 Celda de carga acoplada entre el robot y el remolque.

También se realizaron mediciones en labor de siembra con la sembradora desarrollada por Velázquez *et al.* (2021), se realizaron 15 surcos de 25 metros depositando semilla cada 18 cm (figura 3.10) la batería utilizada fue de ácido-plomo recargable sellada de 26 Ah a 12 V (figura 3.11). La profundidad del

abresurco para depositar la semilla en el robot es de 15 cm y se reguló a una profundidad de 10 cm (figura 3.12 y 3.13).

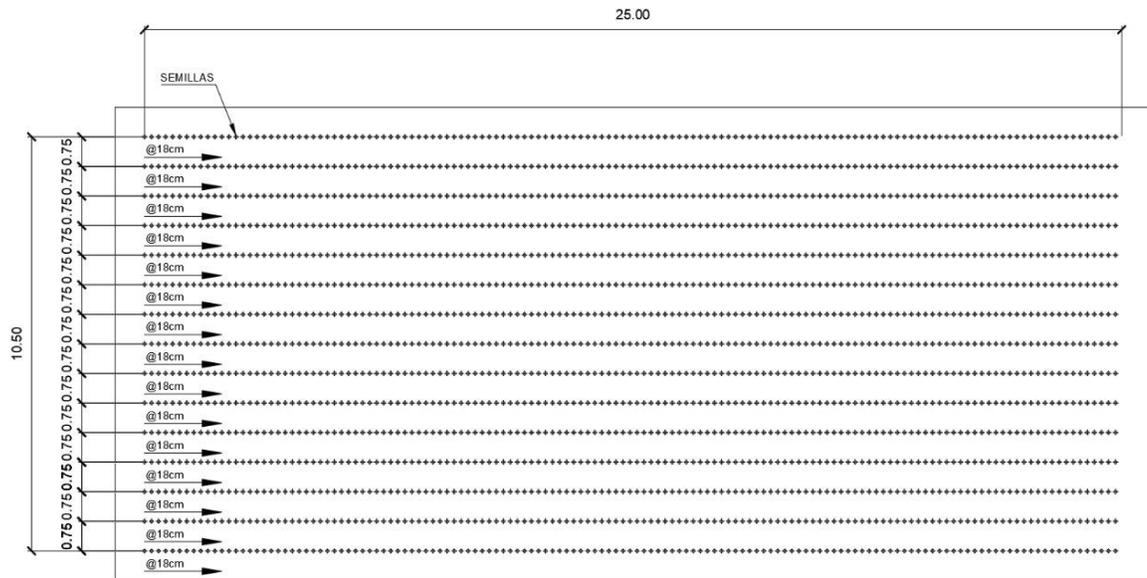


Figura 3.10 Diseño experimental de la parcela de prueba de siembra.



Figura 3.11 Baterías recargable sellada de plomo de 12 V a 26Ah.



Figura 3.12 Robot con implemento de sembradora en la prueba de siembra.

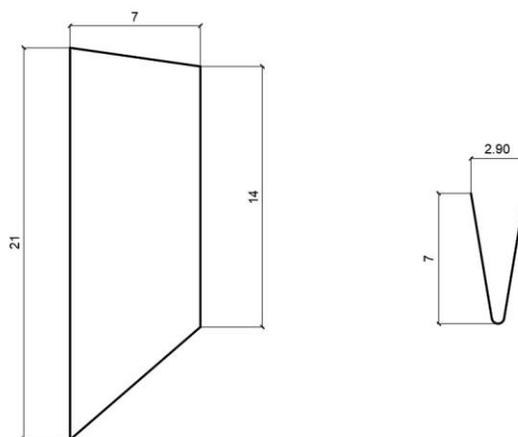


Figura 3.13 Diagrama del abresurco del implemento de sembradora.

3.5 Resultados y discusión

Antes de las pruebas las baterías se cargaron a su máxima capacidad con un cargador rápido de marca Schumacher Sc1279 de 8 A. Se realizó una prueba de duración de carga de dos baterías de ácido-plomo 26 Ah 12V a diferentes niveles de descarga. Como se observa en el cuadro 3.1 la batería uno tenía un nivel de descarga de 2.70% con un tiempo de carga de 1.27 horas. Mientras que en el cuadro 3.2 la batería dos tenía un nivel de descarga del 71.55% con un tiempo de carga de 14.08 horas.

Cuadro 3.1 Tiempo de carga de batería 1.

Batería 1		
	Hora de carga	Voltaje [V]
Inicial	11:08 a. m.	12.94
Final	12:25 a. m.	13.3

Cuadro 3.2 Tiempo de carga de batería 2.

Batería 2		
	Hora de carga	Voltaje [V]
Inicial	11:08 a. m.	3.67
Final	01:18 a. m.	12.9

En el cuadro 3.3 se muestran los valores de la ecuación de calibración de la celda de carga (figura 3.14).

Cuadro 3.3 Resultados de la prueba de patinaje.

Pruebas	y [V]	x [kg]	Fuerza [N]	Potencia mecánica [W]	Corriente [A]	Patinaje [%]
1	0.075	19.36	189.91	195.58	39.4	14.28
2	0.122	31.41	308.13	140.89	34.5	7.91
3	0.125	32.18	315.68	142	54.2	7
4	0.117	30.13	295.56	140.99	71.5	10.8
5	0.171	43.97	431.39	268.37	97.4	6.75
6	0.156	40.13	393.66	212.41	106.7	15.25
7	0.236	60.64	594.89	169.88	107.1	20.06

En la prueba, el patinaje que produjo el robot agrícola fue en un rango de 7 a 20%. El consumo de corriente máximo fue de 97.4 A donde se obtuvo una fuerza de tracción de 594.87 N.

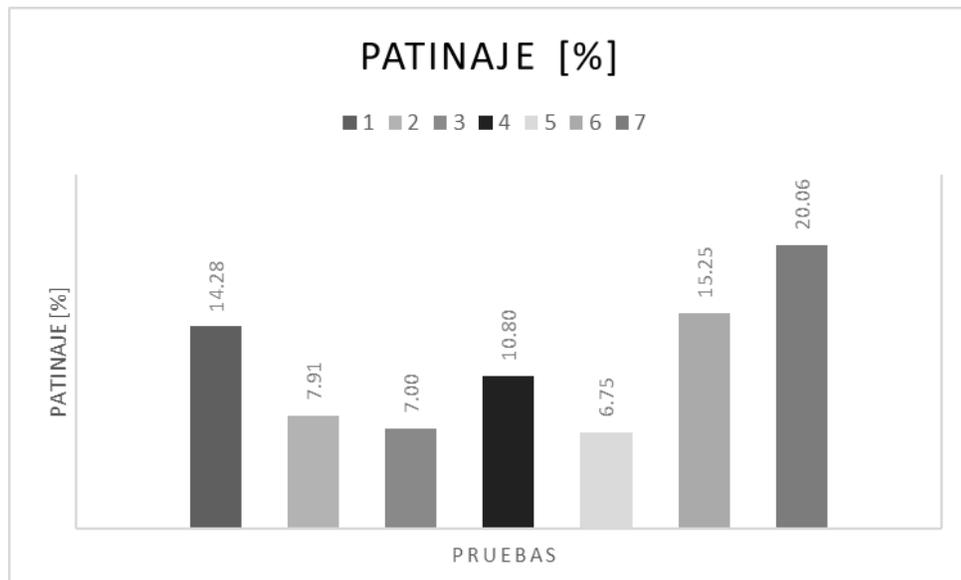


Figura 3.14 Patinaje de la prueba de tracción.

En el cuadro 3.4 se reportan los valores máximos, mínimos y promedio de la prueba de tracción del robot agricultor a diferentes velocidades del robot en la

pista de concreto. Obteniendo valores importantes como el consumo de corriente (A), el voltaje al inicio y final (V) de cada prueba, la potencia eléctrica (W), así mismo la distancia de recorrido (m), velocidad de avance (m/s) y finalmente el patinaje (%).

Cuadro 3.4 Datos de la prueba de patinaje.

Pruebas [m]	Vel. robot [m/s]	Pesos agregados [kg]	I máx. [A]	I. Min [A]	Prom. [-A]	Voltaje inicio [V]	Voltaje final [V]	Pot eléct máx. [W]	Pot eléct mín. [W]	d máx. [m]	d mín. [m]	d prom. [m]	d total ***	Vel máx. [m/s]	Vel. Min. [m/s]	Vel. Prom. [m/s]
1	0.76	710	39.4	24.5	29.2	13.06	12.95	514.6	317.28	4	3.45	3.7	27.74	0.86	0.62	0.71
		925	34.5	7.8	31.3	12.8	12.66	441.6	98.75	4.78	3.26	3.97	28.94	0.67	0.46	0.57
		1283	54.2	8.5	40	12.66	12.55	686.2	106.68	4.38	3.72	3.88	26.99	0.64	0.45	0.61
2**	0.96	1283	71.5	21.2	54.4	12.55	12.21	897.3	258.85	4.04	3.14	3.7	26.44	0.68	0.48	0.59
3	1.2	710	97.4	8.7	42.1	13.21	12.4	1287	107.88	4.58	3.7	3.86	27.15	1.21	1.03	1.11
		925	106.7	8.2	48.9	12.57	12.45	1341	102.09	4.02	3	3.74	26.38	0.72	0.54	0.66
		1283	107.1	8.2	48.9	12.45	12.24	1333	100.37	3.82	2.83	3.62	26.01	0.58	0.29	0.44

** En la prueba 2, faltan los datos con pesos agregados de 710 y 925 kg debido a que se perdieron los datos.

*** Es la distancia total de recorrido de 5 vueltas de llanta del robot en cada una de las 7 pruebas.

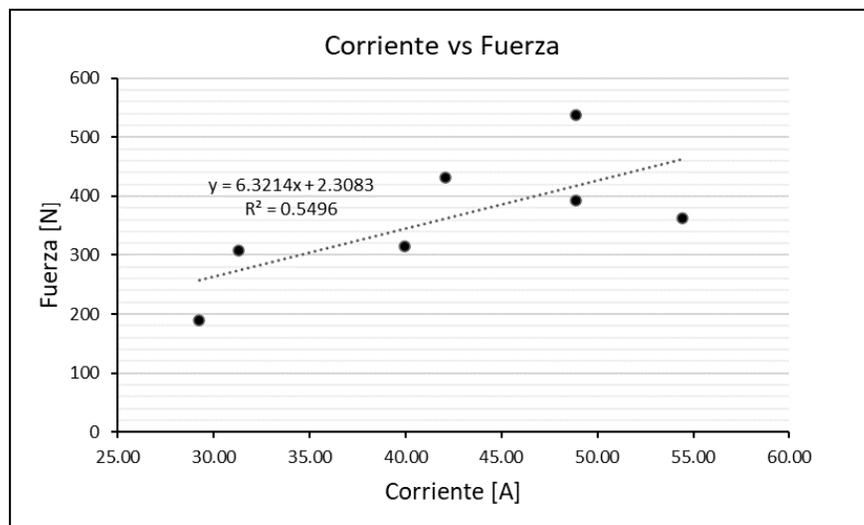


Figura 3.15 Relación de corriente vs fuerza en la prueba de tracción.

La relación entre la corriente (A) y la fuerza (N) tuvo un R^2 DE 0.54 (figura 3.15). En cuanto a la prueba de siembra, el robot tuvo un consumo de corriente máximo de 57.60 A laborando, con un pico máximo de 128.7 A ocasionado por una roca

que no le permitía avanzar, la medida promedio de consumo de corriente fue de 29.56 A y el consumo mínimo de 16.95 A. El tiempo total de siembra fue de 14.18 minutos (figura 16). Con base a la medida de consumo del robot se determinó que la duración de la batería es de 52 minutos, de modo que para ese tiempo se puede trabajar 1375.17 metros lineales (equivalente a 0.10 ha/h), depositando 7639.74 semillas.

Cuadro 3.5 Cuantificación de la prueba de siembra.

N° surcos	Tiempo [s]	Voltan		Promedio [A]
		Consumo de corriente [A]		
		Máximo	Minino	
1	00:01:14	128.70	6.40	27.67
2	00:01:03	32.60	19.70	25.66
3	00:00:57	34.90	23.30	26.04
4	00:01:24	33.30	12.70	23.37
5	00:00:59	33.10	21.50	26.27
6	00:00:59	33.80	20.40	27.31
7	00:00:48	57.60	23.90	33.82
8	00:00:57	35.70	17.90	27.08
9	00:00:50	85.20	10.90	38.13
10	00:01:06	39.70	16.60	27.86
11	00:00:46	55.80	8.70	30.41
12	00:00:46	51.50	24.90	35.17
13	00:00:44	44.10	18.80	33.03
14	00:00:49	48.10	20.10	36.26
15	00:00:56	61.40	8.50	25.25
Promedio	0:00:57	51.70	16.95	29.56
Tiempo total siembra	0:14:18			



Figura 3.16 Prueba de siembra terminada.

También se realizó una prueba más para conocer el consumo de corriente sin el implemento. Con los datos de consumo de corriente en labor de siembra se determinó el tiempo de descarga de las baterías de ácido-plomo. Los datos de esta prueba se demuestran en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6 Descarga de la batería en base a las pruebas en tiempo real.

Robot	Corriente promedio [A]	Tiempo de descarga [min]	Voltaje inicial [Vo]	Voltaje final [Vf]
Sin implemento	21.44	72.6	13.14	9.84
Con implemento	29.56	52.2	13.24	8.45

3.6 Conclusión

Se obtuvo la fuerza máxima de tracción la cual fue de 594.87 N, con un consumo promedio es de 42.1 A, debido a que el robot a mayor velocidad y peso de carga, mayor es el consumo de corriente. Lo que la hace suficiente para jalar la sembradora y realizar la prueba de siembra de maíz; se determinó que el tiempo máximo de trabajo del robot es de 52 minutos con un consumo de corriente promedio de 29.56 A.

3.7 Referencias

- García , G., Cadena, M., López , J., Campos , S., Zermeño , A., & Gutiérrez , H. (2021). Sistemas de medición de patinaje de tractores agrícolas mediante codificadores. *Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua*, 13(2), 261-273. <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.12.006>
- Moitzi , G., Wagentristl, H., Refenner , K., Weingartmann , H., Piringer , G., Boxberger , J., & Gronauer , A. (2014). Effects of working depth and wheel slip on fuel consumption of selected tillage implements. *CIGR Journal*, 16(1), 182-190.
- Velázquez L, N., & García H, R. (2021). Sembradora Eléctrica Multifuncional (Modelo de utilidad No. 4560 B). Instituto Mexicano de la propiedad Industrial (IMPI).
- Villagrán-Mendoza , k., Brenes-Cano, D., & Gómez-Calderón , N. (2023). Efecto del balanceo de cargas en los ejes de tractores agrícolas sobre la eficiencia de labranza y las propiedades físico-mecánicas de un suelo sertisol. *Agronomía Costarricense*, 47(1). <https://doi.org/10.15517/rac.v47i1.53968>.
- Zeng, H., Xub, W., Zang, M., & Yang, P. (2020). Calibración de los parámetros del modelo DEM-FEM para el análisis del rendimiento de tracción de un nerumático todo terreno en terreno de grava. *Power Technology* , 362, 350-361. doi:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.12.006>

4. ARTÍCULO

CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE ROBOT AGRÍCOLA Y PROPUESTA DE DISEÑO DEL CENTRO DE CARGA

ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF AGRICULTURAL ROBOT AND PROPOSAL FOR PHOTOVOLTAIC CHARGING CENTER DESIGN

4.1 Resumen

El objetivo principal de este proyecto es presentar una propuesta detallada para diseñar un sistema fotovoltaico aislado, específicamente destinado a alimentar un robot con aplicaciones agrícolas. La meta fundamental es permitir que este robot funcione de manera ininterrumpida durante largos periodos de tiempo, lo cual es esencial para maximizar su utilidad práctica en el campo agrícola. Esta iniciativa tiene como propósito final ofrecer una solución energética sostenible y personalizada para los campesinos. La implementación de este sistema no solo garantiza un suministro de energía constante para el robot, también proporciona una fuente de energía renovable. Al facilitar el trabajo continuo del robot, se mejora la eficiencia en las operaciones agrícolas y se contribuye a un aumento en la productividad. Este enfoque integral está diseñado para mejorar la calidad de vida de los campesinos al mismo tiempo que promueve prácticas agrícolas sostenibles, representando así un paso significativo hacia un futuro agrícola más eficiente y equitativo.

Palabras clave: Sistema fotovoltaico aislado, suministro de energía, fuente de energía sostenible.

4.2 Abstract

The main objective of this project is to present a detailed proposal for designing an isolated photovoltaic system, specifically aimed at powering a robot with agricultural applications. The fundamental goal is to enable this robot to operate continuously for long periods, which is essential to maximize a sustainable and customized energy solution for farmers. The implementation of this system not only ensures a constant energy supply for the robot but also provides a renewable energy source. By facilitating the robot's continuous operation, efficiency in agricultural operations is improved, contributing to increased productivity. This comprehensive approach is designed to enhance the quality of life for farmers while promoting sustainable agricultural practices, representing a significant step toward a more efficient and equitable agricultural future.

Keywords: Isolated photovoltaic system, power supply, sustainable energy source.

4.3 Introducción

De acuerdo con Gonzáles (2017) el método por Balance de energía es donde el diseñador evalúa las condiciones de producción del sistema fotovoltaico con el promedio de cada mes. De manera que el sistema es dimensionado para una operación donde pueda suministrar energía a la carga de manera eficiente algunos meses o la mayoría y puede presentar déficit en algunos pocos meses o en condiciones adversas, es decir, se usa para cargas donde se utilizan por temporadas del año, este método utiliza menos baterías, paneles solares y equipos. Para Aneider *et al.* (2017) un sistema autónomo debe generar energía eléctrica y acumularla en baterías para ser utilizado en el momento en que se requiera.

Es esencial conocer el comportamiento de la radiación solar global de un lugar específico y, al mismo tiempo es trascendental en el cálculo del número de módulos solares y los demás componentes que se requieren para producir cierta cantidad de energía eléctrica. Sin embargo, los datos de irradiancia no están disponibles en la mayoría de las estaciones de medición existentes, lo que conlleva a precisar de tiempo adicional para realizar las mediciones y el procesamiento de datos, ocasionando retrasos y riesgos en la ejecución de este tipo de proyectos (Ordoñez-Palacios *et al.*, 2020). En la actualidad, el costo de la energía eléctrica a partir de energías renovables, como la solar y la eólica, es competitivo con respecto al uso de recursos fósiles, debido a la mejoras en la eficiencia de conversión de los paneles fotovoltaicos, tecnología asociada con la incorporación a la red pública de distribución, y que no se sujeta a los requerimientos y a la fluctuación de costos de combustibles para su funcionamiento (Beltrán-Telles *et al.*, 2017; Molina-Pfennig y González-Baheza 2020). Jiménez-Jiménez *et al.* (2022) informa que para obtener los datos meteorológicos usualmente no están disponibles en la frecuencia de calidad requerida. Existen alternativas emergentes que eliminan la necesidad de contar con una red robusta de estaciones meteorológicas; es el uso de datos de reanálisis o datos meteorológicos cuadrículados. Estos datos comúnmente están

disponibles de manera gratuita en plataformas web. El sistema de la NASA Power que es una de las muchas herramientas sobre geo-portales climáticos que permite extraer valores de variables agroclimáticas con cobertura mundial. PVSYST pertenece a la Universidad de Geneve. Permite el dimensionado, así como simulación y análisis de datos de sistemas fotovoltaicos autónomos o conectados a red, el cual incluye potentes bases de datos climáticas y de componentes, sus resultados permiten validar el diseño realizado (Mermoud, 2021). De acuerdo con expertos, en México la mejor orientación para los paneles solares es hacia el sur, con una inclinación de 15 a 20 grados, de esta forma reciben mejor radiación y por ende un mayor rendimiento (Solar, 2021). Así como para Branatech (2020) coincide con expertos que los paneles solares orientados al norte o este no operan con la máxima eficiencia. La orientación es problemática debido a la infraestructura que puede bloquear la luz. Lo recomendable es que los paneles en el hemisferio norte estén orientados hacia el sur mientras que en el hemisferio sur hacia el norte.

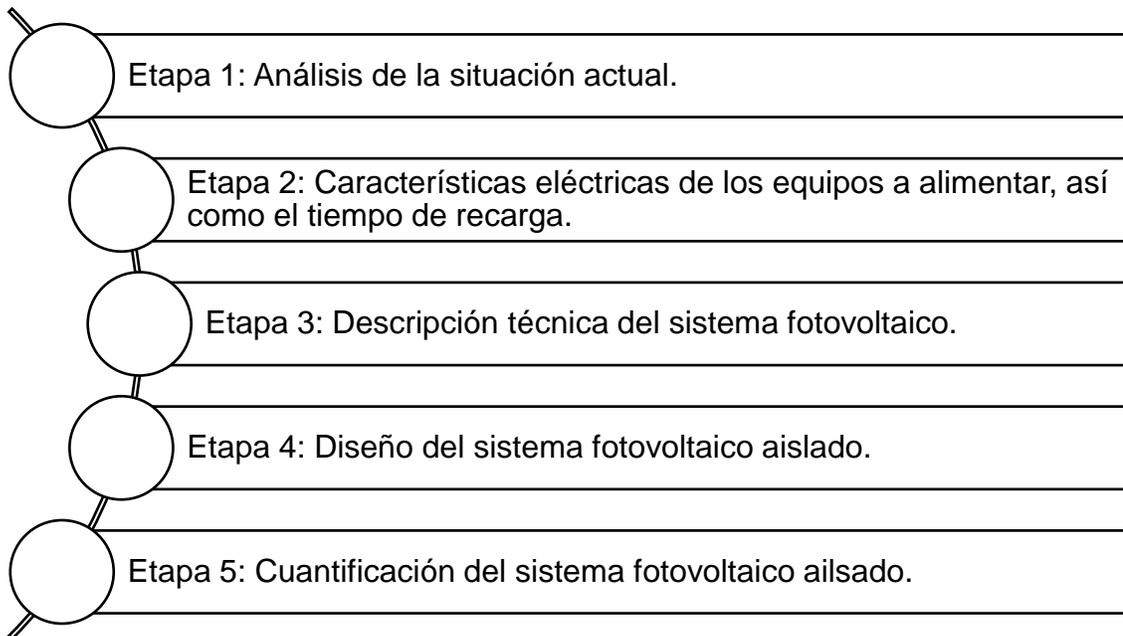
De acuerdo con Quintero *et al.* (2021) las baterías tienen un sinfín de aplicaciones y son tan importantes en la actualidad ya que son empleadas en aplicaciones complejas. La selección del tipo de batería depende exclusivamente de los requerimientos de la aplicación donde son utilizadas. Las baterías más empleadas en los sistemas fotovoltaicos son de tipo ácido-plomo debido a sus ventajas por ser menos costosas, seguras, pero sus desventajas es que tienen un rendimiento poco confiable, así como una vida útil corta, pocos ciclos de carga, menor densidad de energía, son pesadas y voluminosas. La demanda actual en el uso de las baterías es que están obligando al mercado a tener baterías más eficientes y esas las baterías con más éxito son las baterías de litio las cuales presentan ventajas como alta densidad de energía al igual que su eficiencia energética, un prolongado tiempo de vida, su densidad energética puede triplicarse a comparación de las de ácido-plomo, tienen más ciclos de carga rápidos, son más ligeras e ideales para aplicaciones portátiles (Quintero *id* y Zhang *et al.*, 2018).

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Desarrollo de la propuesta

La propuesta está desarrollada por las siguientes etapas:

Cuadro 4.1 Etapas en la propuesta de diseño



4.4.2 Análisis de la situación actual

El robot agrícola es un trabajo de investigación desarrollado en la Universidad Autónoma Chapingo, por estudiantes de posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua abierto para todos aquellos que quieran aprender más sobre esta tecnología en áreas de programación, automatización, sensores, metrología, robótica, electrónica y afines.

El problema principal del desarrollo de este trabajo es que está enfocado para pequeños agricultores, es decir, sectores agrícolas que no cuentan en su mayoría con redes eléctricas y dependen solo de la carga de las baterías, la cual no es suficiente para cubrir un área de trabajo, por lo mismo una alternativa a este problema es un sistema fotovoltaico aislado.

4.4.3 Ubicación y características

La ubicación del sitio es en la Universidad Autónoma Chapingo en Texcoco, Estado de México, latitud 19.49158° o 19° 29'30" norte; longitud -98.88844° o 98° 53'18" oeste a 2262 m.s.n.m.

4.4.4 Radiación solar en México

De acuerdo con el gobierno de México, cerca del 90% del territorio nacional presenta una irradiación solar que al día fluctúa entre 5 y 6 KWh por metro cuadrado. Dichas cifras posicionan a México como una de las zonas con mejores niveles presentados a nivel mundial.

Parar el desarrollo de la investigación se tomó como fuente de la página Solargis, con el fin de recolectar información acerca de atlas solares de México (figura 4.1).



Figura 4.1 Potencial fotovoltaico en México obtenido de Global Solar Atlas (2020).

México es uno de los principales países megadiversos en el mundo, sumando a su lista que es el quinto país con mayor radiación solar debido a su ubicación geográfica, la cual está dentro del cinturón solar.

Cuadro 4.2 Radiación solar de Chapingo, datos obtenidos de la página de la NASA.

Mes/año	Irradiation (kWh/m ²)							HSP
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Prom	
Enero	195.56	174.95	254.90	204.21	222.11	220.14	211.98	7.07
Febrero	188.35	215.22	228.62	174.50	216.14	217.20	206.67	6.89
Marzo	189.06	197.18	219.94	237.51	252.95	256.67	225.55	7.52
Abril	204.79	220.96	221.19	195.52	238.59	215.27	216.05	7.20
Mayo	161.35	185.90	187.85	208.61	238.95	224.72	201.23	6.71
Junio	142.11	145.33	163.01	143.78	155.11	187.74	156.18	5.21
Julio	166.26	158.76	141.85	188.70	156.43	169.31	163.55	5.45
Agosto	166.63	151.90	157.22	136.89	184.80	142.90	156.72	5.22
Septiembre	126.26	138.15	119.76	145.82	141.12	121.36	132.08	4.40
Octubre	157.81	163.00	159.35	140.66	139.52	239.97	166.72	5.56
Noviembre	160.74	163.42	260.87	178.55	178.17	226.58	194.72	6.49
Diciembre	185.59	215.45	262.36	220.65	224.45	220.01	221.42	7.38

4.4.5 Aplicación de caso dispositivos de CA

En este caso el sistema fotovoltaico es dimensionado con los siguientes dispositivos de CA que requiere el robot como complemento para su funcionamiento:

Cuadro 4.3 Estimación del consumo eléctrico de los dispositivos en Wh/día.

Dispositivo	Cantidad	Potencia [W]	Horas [h]	Consumo total [Wh/d]
Laptop	2	200	4	1600
Power bank	2	36	4	288
Bocina	1	36	2	72
Celular	2	36	2	144
Total	7	308	12	2104

A la energía de consumo se le debe colocar un factor de protección que depende de la estimación de pérdidas, es importante conocer los siguientes parámetros:

$$\eta_B = \text{Eficiencia de baterías (80 – 95\%)}$$

η_{INV} = Eficiencia de inversor (85 %)

η_R = Eficiencia de regulador (95%)

η_x = Eficiencia de otras pérdidas (95%)

Cálculo de la eficiencia

$$\eta_T = \eta_B * \eta_{INV} * \eta_R * \eta_x \quad (4)$$

$$\eta_T = 0.8 * 0.85 * 0.95 * 0.95 = 22.95 \%$$

El bloque generador deberá generar 28% más energía para compensar las pérdidas.

$$\text{Energía carga total}_{AC} = 2104 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * 1.28 = 2693.12 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \quad (5)$$

Los requerimientos de energía son de 2693.12 Wh/día. Esto permite conocer las cargas de corriente continua. Esto equivale a una potencia de consumo promedio de:

$$P = \frac{2693.12 \text{ Wh}}{24 \text{ h}} = 112.21 \text{ W} \quad (6)$$

Cálculo del número de paneles a utilizar en el sistema fotovoltaico

Potencia/hora: 2693.12 Wh/día

Potencia del módulo: 330 W

Rendimiento de trabajo: 80 %

Sustituyendo los datos a la formula:

$$N_T = \frac{2693.12 \text{ Wh/día}}{[330 \text{ Wp} * 4.40 * 0.85]} = 2.18 \text{ paneles} \quad (7)$$

Número de módulos: 2

Rúa *et al.* (2021) recomienda que para los paneles fotovoltaicos sean usados en condiciones estándar de irradiancia y temperatura utilizadas a nivel mundial de acuerdo con la norma IEC 60904-1, para así caracterizar células, módulos y generadores solares. Y esas condiciones son las siguientes:

- Irradiancia: W/m^2

- Temperatura de las células: 25°C
- Distribución espectral de la luz: AM1.5G.

4.4.6 Dimensionamiento del regulador

De acuerdo con Markvart y Castañer (2003) recomiendan elegir el sistema de acumulación de acuerdo con los siguientes parámetros.

- o De 1 a 2000 Wh de consumo diario, el sistema a 12V.
- o Más de 2000 Wh a 4000 de consumo diario, el sistema a 24V.
- o De 4000 Wh de consumo diario en adelante, el sistema a 48V.

En este caso se debe tener en cuenta el voltaje nominal de la instalación (24 V) y la intensidad de corriente que va a suministrar el campo fotovoltaico, se recomienda prever los aumentos de intensidades y tensiones suministradas por el módulo, por ello se aplica un coeficiente de seguridad. La ecuación es la siguiente:

$$I_{sc \text{ módulos}} = C_c * I_{sc \text{ módulos}} * \# \text{ paneles} \quad (8)$$

$$I_{reg \text{ entrada}} = 1.25 * 9.18 \text{ A} * 2 = 22.95 \text{ A}$$

Donde:

$I_{sc \text{ módulos}}$ = Intensidad de entrada

$I_{sc \text{ módulos}}$ = Corriente de cortocircuito

C_c = Coeficiente de corrección (25%)

Los valores $I_{sc \text{ módulos}}$ se encuentran en la ficha técnica de los paneles solares.

$$I_{max} = \frac{C_{energético}}{V_{bat} * \text{rendimiento}} = \frac{580 \text{ W}}{24 \text{ V} * 0.8} = 16.04 \text{ A} \quad (9)$$

Donde:

I_{max} = Intensidad máxima

$C_{energético}$ = Potencia instalada

V_{bat} = Voltaje de la batería

Para seleccionar el controlador de carga se debe tomar en cuenta el rendimiento del sistema, en este caso del 80%.

Una vez obtenida la intensidad máxima, se calcula la intensidad de salida con la siguiente formula:

$$I_{\text{salida}} = I_{\text{max}} * 1.25 = 16.04 \text{ A} * 1.25 = 20.05 \text{ A} \quad (10)$$

Donde:

I_{salida} = Intensidad de salida

Potencia del regulador

La potencia del regulador se encuentra calculando el voltaje del circuito abierto y la corriente del cortocircuito del panel fotovoltaico.

$$P_{\text{CMPPT}} = V_{\text{OC}} * I_{\text{SC}} = 46.79 \text{ V} * 9.18 \text{ A} = 429.53 \text{ W} \quad (11)$$

Donde:

P_{CMPPT} = Potencia del regulador

4.4.7 Amperaje del regulador MPPT

$$\frac{\text{Potencia total del panel}}{\text{Tensión (V) batería}} = I_{\text{max}} \quad (12)$$
$$\frac{450 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 13.75 \text{ A}$$

Se requiere un regulador MPPT de 20 A.

4.4.8 Dimensionamiento del inversor

El dimensionamiento del inversor se basa en satisfacer la demanda de potencia en servicio continuo máximo de la carga, que es igual a la suma de las potencias de todas las cargas que pueden funcionar continuamente.

$$P_{\text{Inv}} = F_{\text{si}} \sum C_{\text{energético}} = 1.25 (200 + 36 + 36 + 36) = 385 \text{ W} \quad (13)$$

Donde F_{si} = Factor de seguridad del inversor (25%).

4.4.9 Dimensionamiento del sistema de acumulación

Se determina a partir de la potencia de la instalación. Para el dimensionamiento de las baterías son necesarios los siguientes criterios:

P_{Dmax} : Profundidad máxima de descarga, que para este caso es de 92 % para una batería de litio.

E_{acu} : Es la energía que deben almacenar las baterías.

F_{sa} : Factor de seguridad

ND = Días de autonomía

E_{CT} : Consumo de corriente diario

$$E_{acu} = \frac{F_{sa}(N_D E_{elec} \left[\frac{Wh}{día} \right])}{P_{Dmax}} \quad (14)$$
$$E_{acu} = \frac{1.2 * 1 * 2693.12 \text{ Wh/día}}{0.92} = 3512.76 \text{ Wh}$$

Donde la capacidad necesaria es:

$$C_T = \frac{E_{acu} \left[\frac{Wh}{día} \right]}{V_{acu}} = \frac{3512.76 \text{ Wh}}{12} = 292.73 \text{ Ah} \quad (15)$$

Donde:

V_{acu} = Voltaje de las baterías

Para el número de baterías se calcula de la siguiente manera:

Considerando la capacidad de la batería: 160 Ah

$$\# \text{ baterías} = \frac{C_{banco}}{C_{batería}} = \frac{292.73 \text{ Ah}}{160 \text{ Ah}} = 1.82 = 2 \quad (16)$$

En este caso para el buen funcionamiento del sistema con un día de autonomía se deben instalar: 2 paneles solares de 330 Wp conectados en paralelo y 2 baterías de 12 V 160 Ah conectadas en serie y el controlador de carga de 20 A y un inversor de 400 W.

4.4.10 Descripción técnica del sistema fotovoltaico CA

En este apartado se describen las características técnicas de los componentes del sistema fotovoltaico.

Cuadro 4.4 Ficha técnica de los componentes seleccionados.

<i>Componentes del sistema aislado</i>	<i>Datos</i>
<ul style="list-style-type: none"> Panel solar policristalino de 330W 	Potencia pico: 330 W Tipo de célula: Policristalino Dimensiones: 1956 x 992 x 40 mm Voltaje a circuito abierto (Voc): 46.79 V Corriente cortocircuito (Isc): 9.18 A Eficiencia del módulo: 17.01% Diseño de vida: 25 años
<ul style="list-style-type: none"> Baterías de litio 12 V 160Ah 	Voltaje: 12.8 V Capacidad nominal: 160Ah Terminal: M8 Material de contenedor: LFP Peso: 18 Kg Máxima corriente de descarga: 320 A Eficiencia: 92% Medidas: 237 x 321 x 152 mm Mantenimiento: Libre de mantenimiento Diseño de vida: 10 años
<ul style="list-style-type: none"> Controlador de carga 	Voltaje de operación: 12/24 VCD Capacidad nominal: 20 A Tecnología: MPPT Máximo voltaje de entrada: 100 VCD Dimensiones: 217 x 158 x 56.5 mm Peso: 0.96 Kg
<ul style="list-style-type: none"> Inversor 	Potencia nominal: 400 W

Voltaje nominal de entrada: 18.4-34 VCD

Peso: 4kg

Dimensiones: 86 x 172 x 275 mm

Corriente de entrada máxima: 24 VCD

Corriente de salida máxima: 230 VCA

Punto más alto de eficiencia: 90 %

Salida del voltaje en forma de onda:

Senoidal pura

4.4.11 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico CA

Se observa (figura 4.2) el sistema de conexión de los componentes fotovoltaicos aislados, el cual está constituido por dos módulos fotovoltaicos de 330 W_p generando electricidad a un voltaje de 24 VCD, en la cual será suministrada a un controlador de carga tipo MPPT de 20 A que su vez suministra energía en dos baterías de litio de 12 V a 160 Ah conectadas en serie y un inversor de 400 W. Los componentes están diseñados para cargar las baterías y poder conectar los dispositivos electrónicos del robot en cualquier momento.

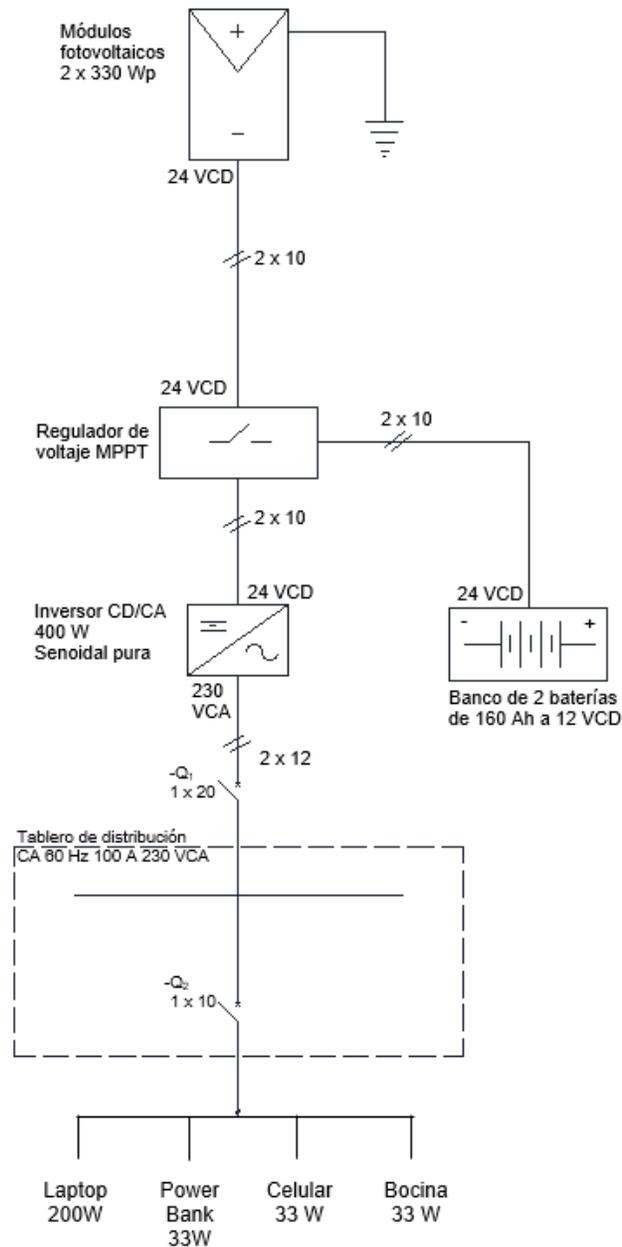


Figura 4.2 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico CA.

4.4.12 Aplicación de caso CD

En este caso el diseño está basado en la batería ideal para tener mayor rendimiento en el campo, ya que las baterías que tiene el robot son de poca capacidad y por lo tanto el rendimiento de trabajo es limitado.

Cuadro 4.5 Estimación del consumo eléctrico de los motores en Wh/día.

Dispositivo	Cantidad	Potencia [W]	Horas [h]	Consumo total [Wh/d]
Motor con escobillas de alta velocidad CD	2	250	*	**

*Depende de la capacidad de la batería.

**Depende de la conexión de los motores y de la capacidad de la batería.

En el cuadro 4.6 se muestra las características de la batería ideal, en base a su capacidad nominal.

Cuadro 4.6 Ficha técnica de las baterías de litio.

<i>Baterías de litio 12 V 160Ah</i>
Voltaje: 12.8 V
Capacidad nominal: 160Ah
Terminal: M8
Material de contenedor: LFP
Peso: 18 Kg
Máxima corriente de descarga: 320 A
Eficiencia: 92%
Medidas: 237 x 321 x 152 mm
Mantenimiento: Libre de mantenimiento
Diseño de vida: 10 años

Consultando las HSP del mes más desfavorable.

$$\text{Potencia del panel} = 160\text{Ah} / 4.4 \text{ HSP} = 36.36 \text{ A} \quad (17)$$

Para cargar la batería de 12V y 36.36 A le tomará 4.4 horas. Pero para cargar la batería es necesario el siguiente cálculo:

$$12\text{V} * 36.36 \text{ A} = 436.32 \text{ W} \quad (18)$$

Se requiere un módulo solar de 450 W para cargar una batería de 12V 160Ah.

4.4.13 Cálculo del controlador

$$I_{sc \text{ módulos}} = C_c * I_{sc \text{ módulos}} * \# \text{ paneles} \quad (19)$$

$$I_{reg \text{ entrada}} = 1.25 * 9.40 \text{ A} * 1 = 13.05 \text{ A}$$

$$I_{max} = \frac{C_{energético}}{V_{bat} * \text{rendimiento}} = \frac{250 \text{ W}}{12 \text{ V} * 0.8} = 11.75 \text{ A} \quad (20)$$

A la I_{salida} de controlador se le aplica un factor de seguridad en este caso del 25%.

$$I_{salida} = I_{max} * 1.25 = 11.75 \text{ A} * 1.25 = 14.68 \text{ A} \quad (21)$$

Donde la corriente máxima del controlador se calcula de la siguiente manera:

$$P_{CMPPT} = V_{OC} * I_{SC} = 46.92 \text{ V} * 9.40 \text{ A} = 441.048 \text{ W} \quad (22)$$

El cálculo para obtener la $I_{máx}$ del regulador de tipo MPPT es la siguiente:

$$\frac{\text{Potencia total del panel}}{\text{Tensión (V) batería}} = I_{máx} \quad (23)$$

$$\frac{450 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 37.5 \text{ A}$$

Se requiere un regulador MPPT de 40 A.

4.4.14 Descripción técnica del sistema fotovoltaico CD

Cuadro 4.7 Ficha técnica de los componentes seleccionados

<i>Panel solar policristalino de 440 W</i>	<i>Controlador de carga</i>
Potencia pico: 450 W	Voltaje de operación: 12/24 VCD
Tipo de célula: Monocristalino	Capacidad nominal: 40 A
Dimensiones: 1956 x 992 x 40 mm	Tecnología: MPPT
Voltaje a circuito abierto (Voc): 46.92 V	Máximo voltaje de entrada: 100 VCD
Corriente cortocircuito (Isc): 9.40 A	Dimensiones: 230 x 165 x 63 mm
Eficiencia del módulo: 20.03%	Peso: 1.31 Kg
Diseño de vida: 25 años	

4.4.15 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico CD

Se observa (figura 4.3) el sistema de conexión de los componentes fotovoltaicos aislados, el cual está constituido por un módulo fotovoltaico de 440 W_p generando electricidad a un voltaje de 24 VCD, en la cual será suministrada a un controlador de carga tipo MPPT, que su vez suministra energía en una batería de litio. Los componentes están diseñados solo para cargar una batería a la vez, con un repuesto para cambiar de batería mientras una carga y la otra es utilizada.

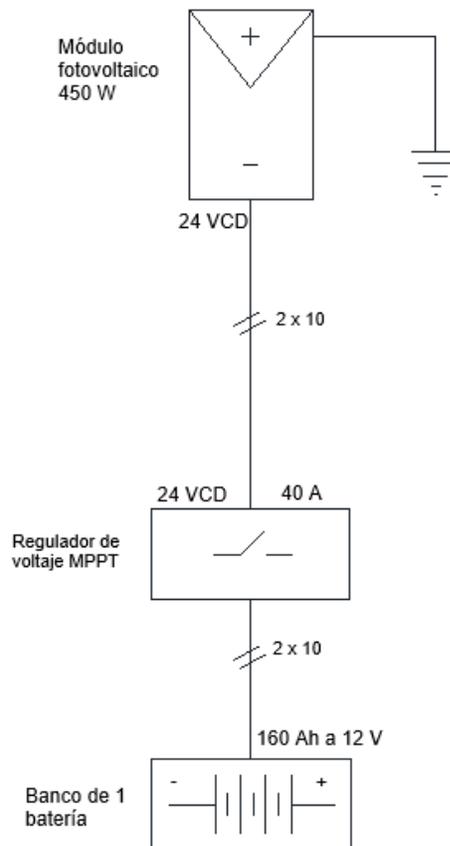


Figura 4.3 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico CD.

4.5 Diseño del centro de carga

El diseño del centro de carga fotovoltaica aislada está centrado de acuerdo con las necesidades de los usuarios y operadores, donde el sistema fotovoltaico debe estar fijo, pero que pueda ser transportado. Es por ello por lo que la solución es un tipo remolque (figura 4.4).

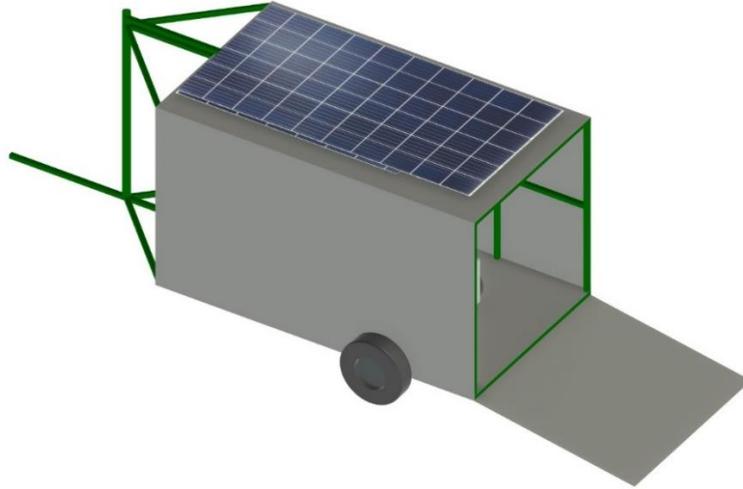


Figura 4.4 Vista 3D del remolque para el centro de carga fotovoltaica aislado con los paneles solares sin desplegar.

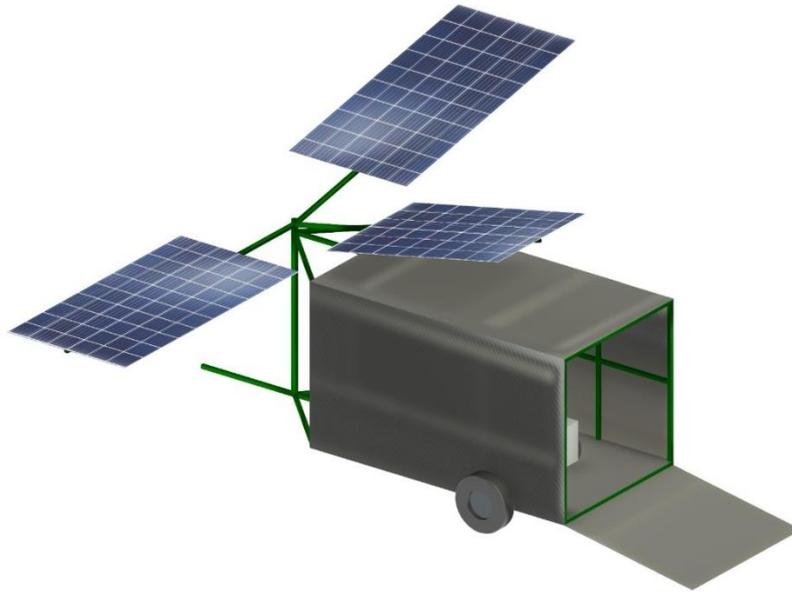


Figura 4.5 Vista 3D del remolque para el centro de carga fotovoltaica aislado con los paneles solares desplegados.

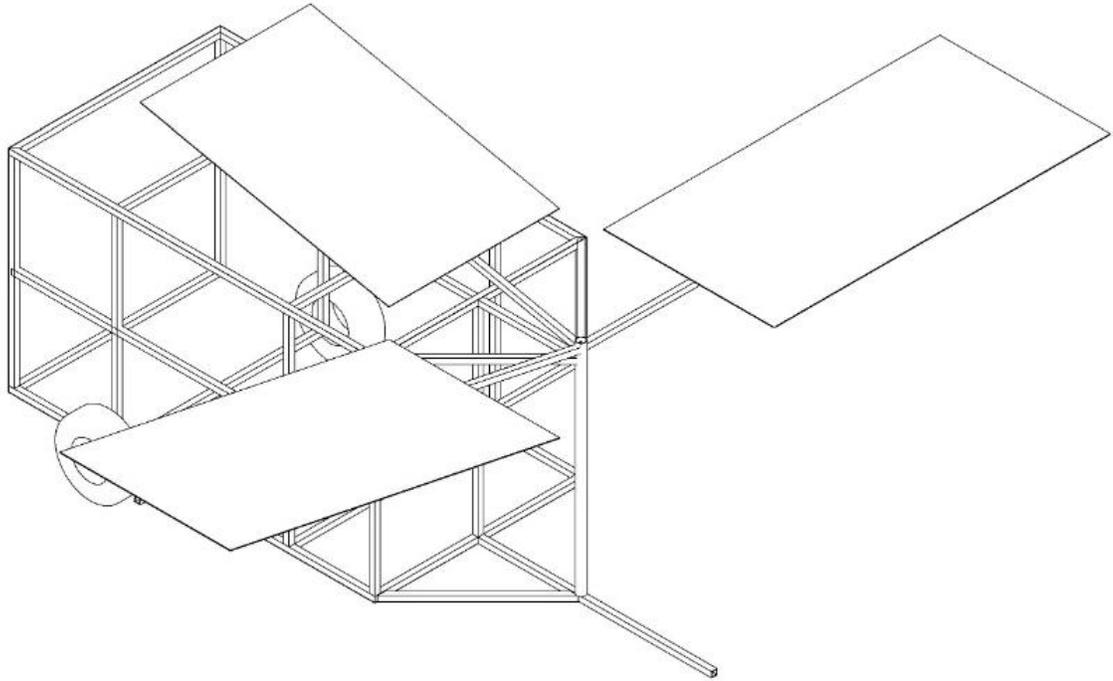


Figura 4.6 Isométrico del remolque para el centro de carga fotovoltaica aislado.

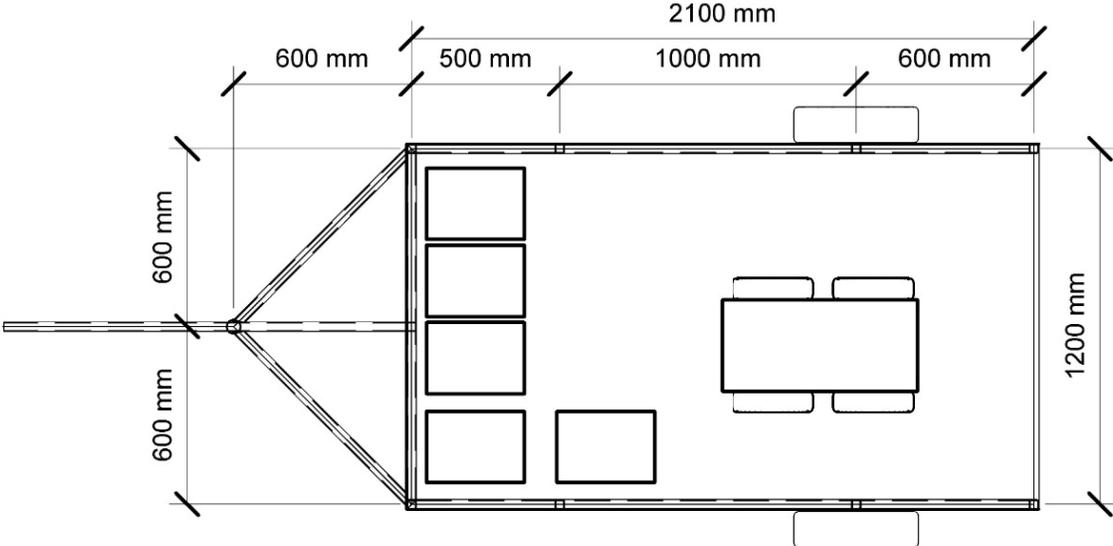


Figura 4.7 Planta del remolque para el centro de carga fotovoltaica aislada.

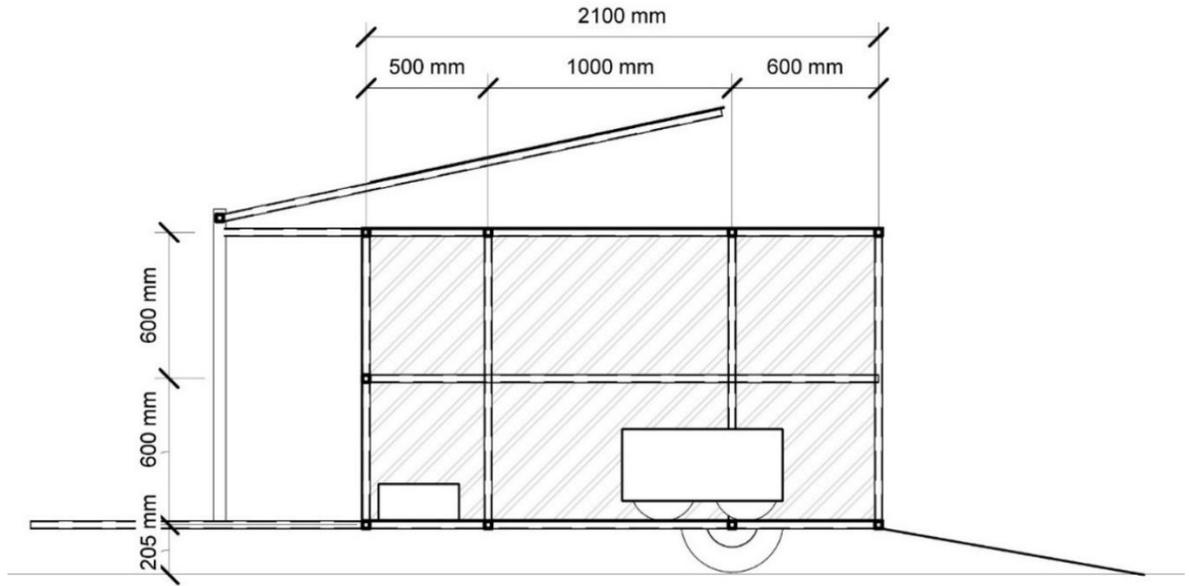


Figura 4.8 Corte longitudinal del remolque para el centro de carga.

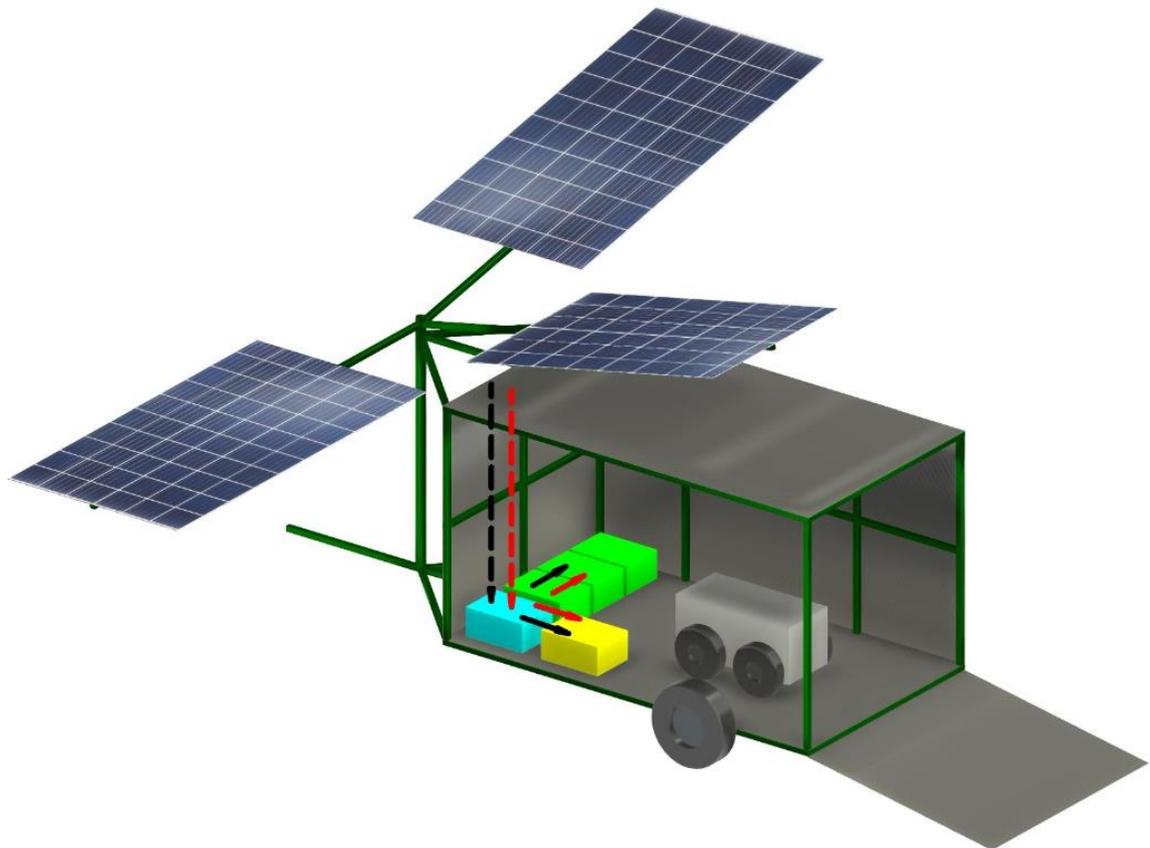


Figura 4.9 Vista 3D en sección del remolque con los componentes del centro de carga fotovoltaica aislado con paneles desplegados.

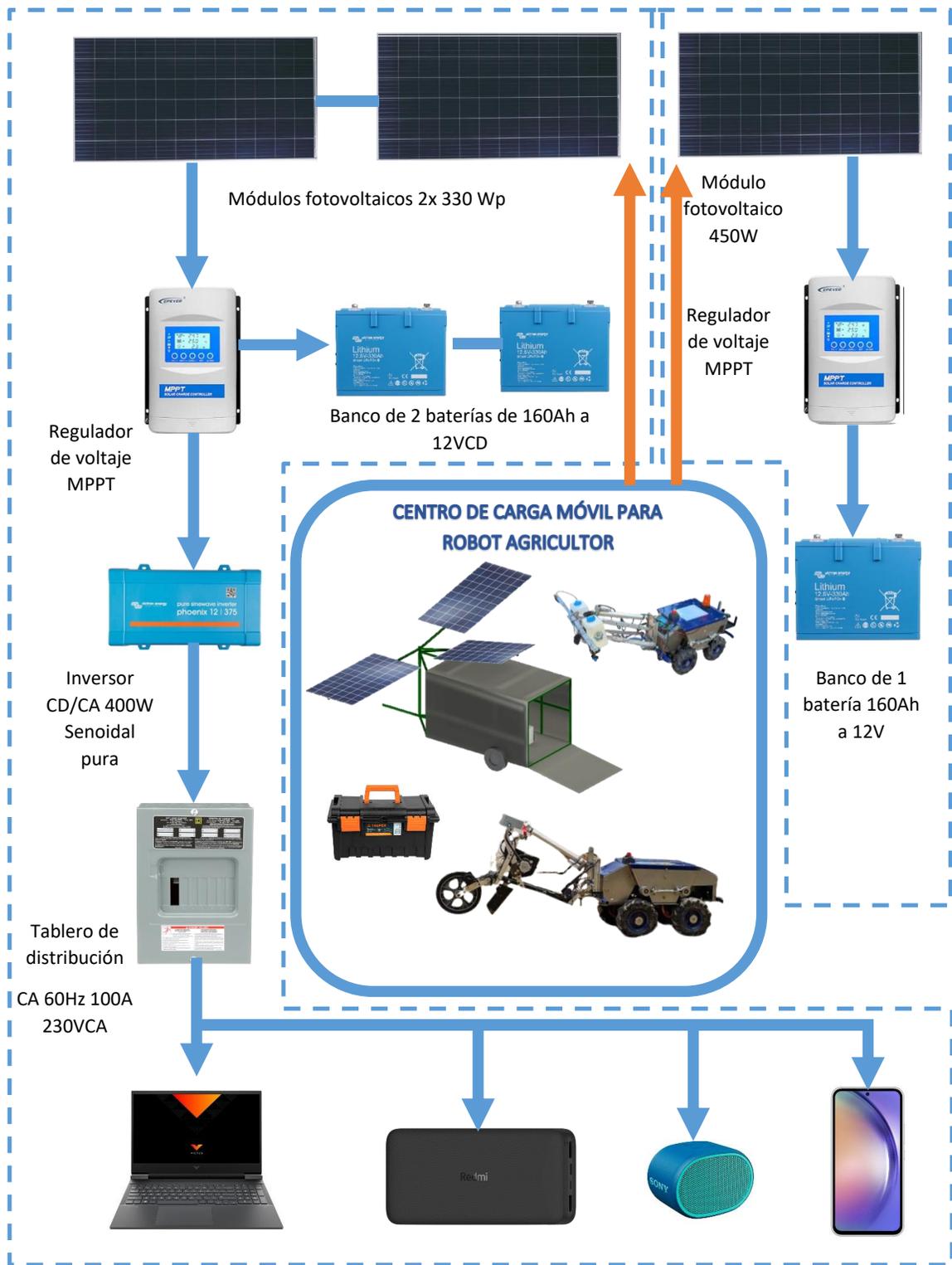


Figura 4.10 Funcionamiento del centro de carga fotovoltaica.

4.5.1 Distribución del centro de carga

La parte interna del remolque está diseñado para que entren 2 robots agricultores e implementos, así como una caja de herramientas y los componentes del sistema fotovoltaico que son 3 paneles fotovoltaicos, los cuales se pueden desplegar y orientar; 4 baterías de litio, 2 controladores de carga, un inversor y un tablero de distribución de cargas; que deben estar fijos y asegurados para que no exista alguna desconexión entre ellos.

4.5.2 Cuantificación del centro de carga

Cuadro 4.8 Cuantificación de los componentes del sistema fotovoltaico de Corriente Alterna.

	Cuantificación			
	Descripción	Cantidad (u)	Precio c/u	Total
Componentes del sistema fotovoltaico de CA	Panel solar 330W	2	3750	7500
	Batería litio 12V 160Ah	2	28363.22	56726.44
	Controlador solar MPPT 30A 12/24V	1	2623	2623
	Inversor Victron phoenix 24/500 24V 400W	1	3169.08	3169.08
	Otros gastos		***	22956.89
	Total	6		92975.41

Cuadro 4.9 Cuantificación de los componentes del sistema fotovoltaico de Corriente directa.

	Cuantificación			
	Descripción	Cantidad (u)	Precio c/u	Total
Componentes del sistema fotovoltaico de CD	Panel solar 440 W	1	5746.8	5746.8
	Controlador solar MPPT 30A 12/24V	1	2623	2623
	Batería litio 12V 160Ah	2	28363.22	56726.44
	Otros gastos		***	27343.02

	Total	4	92439.26
--	-------	---	----------

4.5.3 Cuantificación del remolque

Cuadro 4.10 Cuantificación de la lámina galvanizada para remolque.

Cuantificación lámina galvanizada			
Comentarios	Material: Área	Precio Unitario/m ²	Costo total
Lámina	2.63 m ²	\$767.80	\$2,018.10
	2.63 m ²	\$767.80	\$2,018.10
	1.52 m ²	\$767.80	\$1,165.01
	2.63 m ²	\$767.80	\$2,020.43
	2.63 m ²	\$767.80	\$2,020.43
	1.52 m ²	\$767.80	\$1,165.01
Total			\$10,407.06

Cuadro 4.11 Cuantificación de perfiles para remolque.

Tipo	Recuento	Longitud de corte	Precio Unitario/m	Costo total
PTR 2"x2" Cal 18	1	2.132	\$415.00	\$884.70
	1	2.132	\$415.00	\$884.70
	1	1.232	\$415.00	\$511.20
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	1.232	\$415.00	\$511.20
	1	2.132	\$415.00	\$884.70
	1	2.132	\$415.00	\$884.70
	1	1.232	\$415.00	\$511.20
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	1.232	\$415.00	\$511.20
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
	1	0.826	\$415.00	\$342.78
	1	0.826	\$415.00	\$342.78
	1	1.36	\$415.00	\$564.27
1	0.591	\$415.00	\$245.13	

PTR 2" Cal 18	1	1.279	\$415.00	\$530.83
	1	0.837	\$415.00	\$347.27
	1	0.837	\$415.00	\$347.27
	1	2.635	\$415.00	\$1,093.32
	1	2.581	\$415.00	\$1,071.32
PTR 2"x2" Cal 18	1	2.086	\$415.00	\$865.85
	1	2.116	\$415.00	\$878.10
	1	2.116	\$415.00	\$878.10
	1	1.232	\$415.00	\$511.20
	1	1.168	\$415.00	\$484.80
Total	34	47.962		\$19,904.23

Cuadro 4.12 Cuantificación del centro de carga fotovoltaica.

Cuantificación	Total		
Láminas	10407.6		
Perfiles	19904.23		
SFV A CD	92975.41		
SFV A CA	65096.24		
**Concepto	Precio Unitario	Semanas de trabajo	Total
Mano de obra	7500	3	22500
Total			210883.48

**Suministro y colocación de estructura a base de PTR, soldada en campo, incluye: mano de obra, herramienta, acarreo, flete del material, fijación, cortes, desperdicios, ajustes de montaje, sujeción, retiro de sobrantes fuera y todo lo necesario para su correcta ejecución, así como la colocación de láminas y el doblado de esta y colocación de llantas.

4.6 Conclusión

Esta propuesta descrita de manera detallada es para su total comprensión, donde se cumplió lo siguiente:

Se recopiló el consumo eléctrico requerido para el funcionamiento del robot.

Se analizó los requerimientos técnicos en la implementación del centro de carga fotovoltaica de manera que sea autónomo debido al enfoque para beneficiar a pequeños agricultores por lo que debe ser un sistema aislado ya que la mayoría

de las parcelas de los campesinos se encuentran lejos de las redes eléctricas convencionales.

De acuerdo con el análisis del apartado 4.3 una batería de litio tiene mayores beneficios a comparación de ácido-plomo.

Existe software para poder determinar la energía de irradiación solar del sitio deseado.

Se calculó y dimensionó el sistema fotovoltaico aislado, es decir, la selección del tipo y número de componentes.

4.7 Referencias

Aneider , A., Martínez , F., & López , G. (2017). Energy storage using ultracapacitors un autonomus photovoltaic systems. *Visión Electrónica*, 11(1), 30-39. doi:<https://doi.org/10.14483/22484728.12875>.

Beltrán-Telles , A., Morera-Hernández , M., López-Monteaagudo, F., & Villela-Varela , R. (2017). Perspectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. *CienciaUAT*, 2, 105-117.

Branatech. (2020). ¿Es posible mejorar la eficiencia de los panles solares?.

Gonzáles, C. E. (2017). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *CC*, 1-81.

Jiménez-Jiménez , S., Ojeda-Bustamante , W., Inzunza-Ibarra, M., & Marcial-Pablo. (2022). Evaluación del sistema NASA-POWER para estimar la evapotranspiración de referencia en la Región Lagunera, México. *Ingeniería Agrícola en Biosistemas*, 201-226. doi:<https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050>

Mermoud, A. (2021). PVSYST.

Molina-Pfennig , P., & González-Baheza, A. (2020). Evaluación de los recursos de radiación solar en los municipios de Baja California Sur, México mediante un modelo de aptitud socioambiental. *Región y sociedad*, 32, 1-37. doi:<https://doi.org/10.22198/rys2020/32/1296>

Ordoñez-Palacios , L., León-Vargas , D., Bucheli-Guerrero , V., & Ordoñez-Eraso , H. (2020). Predicción de radiación solar en sistemas fotovoltaicos utilizando técnicas de aprendizaje automático. *Revista Facultad de*

Quintero , V., Che, O., Ching2 , E., Auciello , O., & Obaldía , E. (2021). Baterías de Ion Litio: Características y aplicaciones. *Revista I+D Tecnología*, 17(1).

Solar, M. (2021). Tipos de estructuras para paneles solares.

Zhang , J., Zhang , F., Sun , F., & Wang , Z. (2018). An overview on thermal safety issues of Lithium-ion Batteries for electric vehicle application. *IEEE Access*, 6, 23848-230863. doi:10.1109/ACCESS.2018.2824838

5. DIFICULTADES Y RECOMENDACIONES

5.1 Dificultades

De acuerdo con el capítulo 3 en su apartado 3.6 el robot agrícola está limitado en trabajar continuamente por las baterías con las que cuenta, ya que son de poca capacidad y por ser de ácido-plomo; son menos eficientes y de pocos años de vida, aparte se deterioran muy fácilmente y por ende se tiene que llevar repuestos lo que lo hace tedioso y dependen totalmente de la carga de energías convencionales, sumando que la carga de las baterías es muy tardada.

El objetivo específico sobre el analizar y evaluar el óptimo funcionamiento de alimentación al robot no se logró cumplir debido al tiempo y al costo, que como se ve reflejado en el cuadro 4.12 se requiere una fuerte inversión.

5.2 Recomendaciones

De acuerdo con las conclusiones se recomienda lo siguiente:

La prueba de tracción en el robot agrícola fue adaptada de una norma para motocultores ya que no existe información para este tipo de vehículos lo que lo hace indispensable desarrollar un mejor procedimiento de acuerdo con la información recabada para lograr establecer una metodología adecuada.

La implementación de sistemas fotovoltaicos tiene como ventaja el aprovechamiento de energía lumínica a energía eléctrica, lo que lo hace viable en aplicaciones aisladas como es el caso del robot agricultor y para ello se realizan una serie de pasos para que el sistema sea funcional y se pueda aprovechar al máximo, por ello es importante determinar las potencias de los equipos a conectar porque de ellos depende el dimensionamiento. Así como seguido de otros factores importantes como la ubicación geográfica y por ende la radiación solar.

El centro de carga fotovoltaica está diseñado solo para para ciertos dispositivos por ello es importante señalar que no podemos utilizar el sistema para

dispositivos que tengan una potencia superior a la que se ha realizado en los cálculos en esta propuesta, ya que como consecuencia un uso inadecuado del mismo puede causar daños al sistema de energía solar fotovoltaica como a los equipos que se quiere suministrar energía.

6. ANEXOS

6.1 Carátula de la Norma Oficial Mexicana NMX-O-233-SCFI-2015

NMX-O-233-SCFI-2019
4/67



NORMA MEXICANA

NMX-O-233-SCFI-2015

TRACTORES IMPLEMENTOS Y MAQUINARIA AGRÍCOLA – MOTOCULTORES. ESPECIFICACIONES Y MÉTODO DE PRUEBA.

**AGRICULTURAL TRACTORS, IMPLEMENTS AND MACHINERY — TWO WHEEL
TRACTORS. SPECIFICATIONS AND TEST METHOD.**

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones mínimas de calidad y el método de prueba para evaluar el funcionamiento, facilidad y seguridad de operación de los motocultores y motozadas nuevos que se comercializan en la república mexicana.

2 REFERENCIAS

Los siguientes documentos referidos, son indispensables para la aplicación de esta norma.

NMX-O-153-1981	Maquinaria agrícola – definiciones. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de febrero de 1981
NOM-024-STPS-2001	Vibraciones-Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 2002
NOM-011-STPS-2001	Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2002

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma deben consultarse las definiciones establecidas en la norma mexicana NMX-O-153-1981, además de complementarse con lo indicado a continuación.

3.1 Motocultor

Maquina agrícola autopropulsada a través de una caja de engranajes en baño de aceite de un eje con tracción en dos ruedas, dirigido por manceras por un operador que marche a pie, con portaherramientas para el enganche rápido de implementos con control de velocidad por medio de caja de cambios de engrane en el trabajo y aceleración en el transporte, con toma de fuerza posterior al motor para acoplar y accionar sus implementos,

ICS: 65.060.10

SINEC-2019062610153399

SCIAN: 333111

6.2 Ficha técnica del panel solar para CD

INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN STC*

Potencia máxima (Pmax)	320 W	325 W	330 W	335 W	340 W	345 W	350 W
Tolerancia de potencia	0 +5 W						
Eficiencia del módulo	16,49 %	16,75 %	17,01 %	17,27 %	17,52 %	17,78 %	18,04 %
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	37,42 V	37,69 V	37,87 V	38,15 V	38,37 V	38,55 V	38,80 V
Máxima capacidad de corriente (Imp)	8,55 A	8,62 A	8,71 A	8,78 A	8,86 A	8,95 A	9,02 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	46,35 V	46,64 V	46,79 V	46,32 V	46,55 V	46,70 V	46,92 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,07 A	9,12 A	9,18 A	9,16 A	9,24 A	9,31 A	9,40 A

*Condiciones Estándar de Medida: Radiación: 1000 W/m² · Temperatura de las celdas: 25°C · AM: 1,5

INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN NOCT*

Potencia máxima de salida (Pmax)	236,73 W	240,43 W	244,13 W	248,00 W	251,53 W	255,23 W	258,92 W
Capacidad máxima de voltaje (Vmp)	34,56 V	34,81 V	34,98 V	35,52 V	35,44 V	35,60 V	35,84 V
Capacidad máxima de corriente (Imp)	6,84 A	6,90 A	6,97 A	8,78 A	7,09 A	7,16 A	7,22 A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	43,03 V	43,29 V	46,79 V	42,78 V	43,21 V	43,35 V	43,55 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7,36 A	7,40 A	7,45 A	7,44 A	7,50 A	7,56 A	7,63 A

*Temperatura Nominal de Operación de la Celda: Irradiación: 800W/m² · Temperatura ambiente: 20°C · AM: 1,5 · Velocidad del viento: 1 m/s

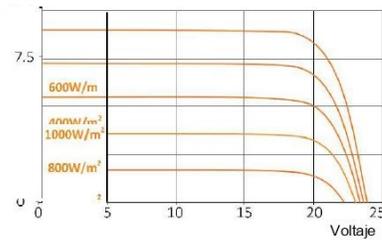
CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

NOCT	45 °C ±2 °C
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0,41%/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	+0,06%/°C

RANGO MÁXIMO

Rango de temperatura de operación	-45 °C ~+85 °C
Máximo voltaje del sistema	1500 V
Rango máximo de capacidad del fusible	15 A
Máxima carga frontal (ejem. nieve)	5 400 Pa
Máxima carga posterior (ejem. viento)	2 400 Pa

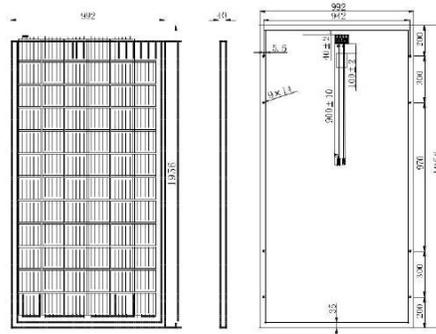
CURVA I-V



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipo de celdas	Policristalino (156x156 mm)
Número de celdas	72
Dimensiones	1956x992x40 mm
Peso	22,8 kg
Vidrio	3,2 mm vidrio templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de control	IP65 o IP67
Cable	0,9 m
Conector	MC4 o MC4 compatible

DISEÑO DE INGENIERÍA



EMBALAJE

Tipo	Pzas	Peso
Paleta	26 pzas	620 kg
Contenedor 20GP	300 pzas	7,6 t
Contenedor 40GP	640 pzas	15,4 t
Contenedor 40HQ	696 pzas	16,2 t

NOTA: Para uso de sistemas de interconexión con la red eléctrica y sistemas aislados.

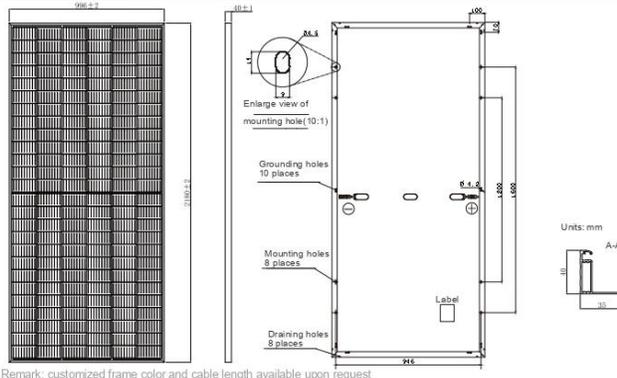
www.syscom.mx

6.3 Ficha técnica del panel solar para CA

JA SOLAR

JAM78S10 425-445/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	24.6kg±3%
Dimensions	2180±2mm×996±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	156(6×26)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4, 10-35
Cable Length	Portrait:300mm(+)/400mm(-); Landscape:1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	27 Per Pallet

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM78S10 -425/MR	JAM78S10 -430/MR	JAM78S10 -435/MR	JAM78S10 -440/MR	JAM78S10 -445/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	425	430	435	440	445
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	53.41	53.72	53.98	54.25	54.56
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	43.11	43.41	43.78	44.15	44.46
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.32	10.36	10.40	10.44	10.48
Maximum Power Current(Imp) [A]	9.86	9.91	9.94	9.97	10.01
Module Efficiency [%]	19.6	19.8	20.0	20.3	20.5
Power Tolerance	0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.051%/°C				
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.289%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G				

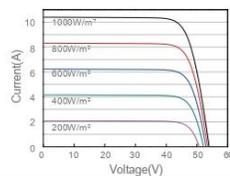
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

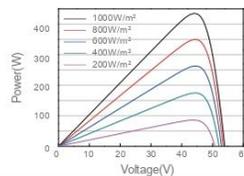
TYPE	JAM78S10 -425/MR	JAM78S10 -430/MR	JAM78S10 -435/MR	JAM78S10 -440/MR	JAM78S10 -445/MR	OPERATING CONDITIONS
Rated Max. Power(Pmax) [W]	322	326	330	334	338	Maximum System Voltage 1000V/1500V DC(IEC)
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.93	50.19	50.45	50.66	50.86	Operating Temperature -40°C~+85°C
Max Power Voltage(Vmp) [V]	40.51	40.78	41.03	41.28	41.57	Maximum Series Fuse 20A
Short Circuit Current(Isc) [A]	8.33	8.38	8.43	8.48	8.53	Maximum Static Load,Front 5400Pa
Max Power Current(Imp) [A]	7.95	7.99	8.04	8.09	8.13	Maximum Static Load,Back 2400Pa
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					NOCT 45±2°C
						Application Class Class A

CHARACTERISTICS

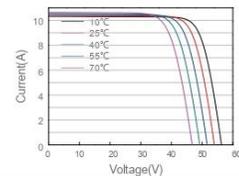
Current-Voltage Curve JAM78S10-435/MR



Power-Voltage Curve JAM78S10-435/MR



Current-Voltage Curve JAM78S10-435/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20190827A

6.4 Ficha técnica de la batería de litio

Nuestras baterías LFP disponen de equilibrado y control de celdas integrados. Los cables de equilibrado/control de celdas pueden conectarse en cadena y deben conectarse a un sistema de gestión de baterías (BMS).

Sistema de gestión de baterías (BMS)

El BMS:

- generará una prealarma siempre que la tensión de una celda de la batería caiga por debajo de 3,1 V (regulable entre 2,85 V y 3,15 V).
- desconectará o apagará la carga cuando la tensión de una celda de la batería caiga por debajo de 2,8 V (regulable entre 2,6 V y 2,8 V).
- detendrá el proceso de carga cuando la tensión de una celda de la batería se sitúe por encima de los 3,75 V o cuando la temperatura suba o baje demasiado.

Consulte las fichas técnicas del BMS para conocer más características.

Especificaciones de la batería								
TENSIÓN Y CAPACIDAD	LFP-Smart 12,8/50	LFP-Smart 12,8/100	LFP-Smart 12,8/160	LFP-Smart 12,8/180	LFP-Smart 12,8/200	LFP-Smart 12,8/330	LFP-Smart 25,6/100	LFP-Smart 25,6/200-a
Tensión nominal	12,8 V	12,8 V	12,8 V	12,8 V	12,8 V	12,8 V	25,6 V	25,6 V
Capacidad nominal a 25°C*	50 Ah	100 Ah	160 Ah	180 Ah	200 Ah	330 Ah	100 Ah	200 Ah
Capacidad nominal a 0°C*	40 Ah	80 Ah	130 Ah	150 Ah	160 Ah	260 Ah	80 Ah	160 Ah
Capacidad nominal a -20°C*	25 Ah	50 Ah	80 Ah	90 Ah	100 Ah	160 Ah	50 Ah	100 Ah
Energía nominal a 25°C*	640 Wh	1280 Wh	2048 Wh	2304 Wh	2560 Wh	4220 Wh	2560 Wh	5120 Wh
*Corriente de descarga ≤ 1 C								
VIDA ÚTIL EN CICLOS (capacidad ≥ 80 % de la nominal)								
80% de descarga	2500 ciclos							
70% de descarga	3000 ciclos							
50% de descarga	5000 ciclos							
DESCARGA								
Corriente de descarga continua recomendada	100 A	200 A	320 A	360 A	400 A	400 A	200 A	400 A
Corriente de descarga continua recomendada	≤ 50 A	≤ 100 A	≤ 160 A	≤ 180 A	≤ 200 A	≤ 300 A	≤ 100 A	≤ 200 A
Tensión de final de descarga	11,2 V	11,2 V	11,2 V	11,2 V	11,2 V	11,2 V	22,4 V	22,4 V
Resistencia interna	2 mΩ	0,8 mΩ	0,9 mΩ	0,9 mΩ	0,8 mΩ	0,8 mΩ	1,6 mΩ	1,5 mΩ
CONDICIONES DE TRABAJO								
Temperatura de trabajo	Descarga: De -20 °C a +50 °C Carga: De +5 °C a +50 °C							
Temperatura de almacenamiento	De -45 °C a +70 °C							
Humedad (sin condensación)	Máx. 95%							
Clase de protección	IP 22							
CHARGE								
Tensión de carga	Entre 14 V/28 V y 14,4 V/28,8 V (14,2 V/28,4 V recomendado)							
Tensión de flotación	13,5 V/27 V							
Máxima corriente de carga	100 A	200 A	320 A	360 A	400 A	400 A	200 A	400 A
Corriente de carga recomendada	≤ 30 A	≤ 50 A	≤ 80 A	≤ 90 A	≤ 100 A	≤ 150 A	≤ 50 A	≤ 100 A
OTROS								
Tiempo máx. de almacenamiento a 25 °C*	1 año							
Conexión con el BMS.	Cable macho + hembra con conector circular M8, 50 cm de longitud							
Conexión eléctrica (inserciones roscadas)	M8	M8	M8	M8	M8	M10	M8	M8
Dimensiones (al x an x p) mm	199 x 188 x 147	197 x 321 x 152	237 x 321 x 152	237 x 321 x 152	237 x 321 x 152	265 x 359 x 206	197 x 650 x 163	237 x 650 x 163
Peso	7 kg	14 kg	18 kg	18 kg	20 kg	29 kg	28 kg	39 kg
*Completamente cargada								

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos
 Correo electrónico: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com



6.5 Ficha técnica del controlador de carga

Technical Specifications

Item	XTRA 1206N	XTRA 2206N	XTRA 1210N	XTRA 2210N	XTRA 3210N	XTRA 4210N	XTRA 3215N	XTRA 4215N	XTRA 3415N	XTRA 4415N
Electrical										
System Nominal Voltage	12/24VDC ^① Auto								12/24/36/48VDC ^① Auto	
Rated Charge Current	10A	20A	10A	20A	30A	40A	30A	40A	30A	40A
Rated Discharge Current	10A	20A	10A	20A	30A	40A	30A	40A	30A	40A
Battery Voltage Range	8~32V								8~68V	
Max. PV Open Circuit Voltage	60V ^② 46V ^③		100V ^② 92V ^③				150V ^② 138V ^③			
MPPT Voltage Range	(Battery voltage +2V)~36V			(Battery voltage +2V)~72V			(Battery voltage +2V)~108V			
Max. PV Input Power (W/V)	130/12 260/24	260/12 520/24	130/12 260/24	260/12 520/24	390/12 780/24	520/12 1040/24	390/12 780/24	520/12 1040/24	390/12 780/24 1170/36 1560/48	520/12 1040/24 1560/36 2080/48
Equalization Voltage ^④	Sealed: 14.6V; Flooded: 14.8V; User: 17~9V									
Boost Voltage ^④	Gel: 14.2V; Sealed: 14.4V; Flooded: 14.6V; User: 17~9V									
Float Voltage ^④	Gel /Sealed /Flooded: 13.8V; User: 17~9V									
Low Voltage Reconnect Voltage ^④	Gel /Sealed /Flooded: 12.6V; User: 17~9V									
Low Voltage Disconnect Voltage ^④	Gel /Sealed /Flooded: 11.1V; User: 17~9V									
Self-consumption	≤14mA(12V) ≤15mA(24V)		≤35mA(12V) ≤22mA(24V)				≤35mA(12V) ≤16mA(36V) ≤22mA(24V) ≤16mA(48V)			
Discharge circuit voltage drop	≤0.23V									
Temperature Compensate coefficient ^⑤	-3mV/°C/2V (Default)									
Grounding	Common negative grounding									
RS485 interface	5VDC/200mA (RJ45)									
LCD backlight time	60S (Default)									
Environmental										
Working environment temperature ^⑥ (full rated power with no derating)	-25°C~+50°C (LCD) ; -30°C~+50°C (No LCD)									
Storage temp. range	-20°C~+70°C									
Relative humidity	≤ 95% , N.C.									
Enclosure	IP33 ^⑦									
Pollution degree	PD2									

Item	XTRA 1206N	XTRA 2206N	XTRA 1210N	XTRA 2210N	XTRA 3210N	XTRA 4210N	XTRA 3215N	XTRA 4215N	XTRA 3415N	XTRA 4415N
Certification										
Safety	EN/IEC62109-1									
EMC(Emission immunity)	EN61000-6-3/EN61000-6-1									
FCC	47 CFR Part 15, Subpart B									
Performance &function	IEC62509									
ROHS	IEC62321-3-1									

Item	XTRA 1206N XTRA 1210N	XTRA 2206N XTRA 2210N	XTRA 3210N	XTRA 4210N XTRA 3215N	XTRA 4215N XTRA 3415N	XTRA 4415N
Mechanical						
Dimension(mm)	175×143×48	217×158×56.5	230×165×63	255×185×67.8	255×187×75.7	255×189×83.2
Mounting dimension(mm)	120×134	160×149	173×156	200×176	200×178	200×180
Mounting hole size	Φ5mm					
Terminal	12AWG(4mm ²)	6AWG(16mm ²)				
Recommended cable	12AWG(4mm ²)	10AWG(6mm ²)	8AWG(10mm ²)	6AWG(16mm ²)	8AWG(16mm ²)	6AWG(16mm ²)
Weight	0.57kg	0.96kg	1.31kg	1.70kg	2.07kg	2.47kg

- ① When selecting lithium battery type, the system voltage can't be identified automatically
- ② At minimum operating environment temperature
- ③ At 25°C environment temperature
- ④ When selecting lithium battery type, the temperature compensation coefficient is 0, and can't be set
- ⑤ The parameters are 12V system at 25 °C, ×2 in 24V system at 25 °C, ×4 in 48V system at 25 °C
- ⑥ The controller can full load working in the working environment temp. range, When the internal temperature reach to 81 °C, the reducing charging power mode is turned on
- ⑦ 3 - protection against solid objects: protected against solids objects over 2.5mm
2 - protection against liquids: protected against direct sprays up to 15 ° from the vertical

6.6 Ficha técnica del regulador de carga

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont. a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga)		Desconexión dinámica, ver https://www.victronenergy.com/live/ve-direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)						
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reinicio: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable				
Protección (2)		a - f				
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)		máx. 95%				
CARCASA						
Material y color		Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)				
Conexión de la batería		Bornes de tornillo				
Sección de cable máxima:		10mm ² / AWG8	10mm ² / AWG8	10mm ² / AWG8	25/10/10mm ² / AWG4/8/8	35/25/25 mm ² / AWG 2/4/4
Tomas de corriente CA estándar		230V: Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R, GFCI				
Tipo de protección		IP 21				
Peso		2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8,5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p, pulgadas)		86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 172 x 275 3.4 x 6.8 x 10.8	105 x 216 x 305 4.1 x 8.5 x 12.1 (12V modelo: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4.6 x 9.1 x 12.9 (12V modelo: 117 x 232 x 362)
ACCESORIOS						
On/Off remoto		Sí				
Conmutador de transferencia automático		Filax				
ESTANDARES						
Seguridad		EN-IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1				
EMC		EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3				
Directiva de automoción		ECE R10-4				
1) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 2) Claves de protección: a) cortocircuito de salida b) sobrecarga c) tensión de la batería demasiado alta d) tensión de la batería demasiado baja h) temperatura demasiado alta f) ondulación CC demasiado alta						



Alarma de batería

Indica que la tensión está demasiado alta o demasiado baja por medio de una alarma visual y sonora y de un relé de señalización remota



Mochila VE.Direct a Bluetooth Smart
(Debe pedirse por separado)



Monitor de baterías BMV

El monitor de baterías BMV dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de alta resolución para la medición de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o el tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos
Centralita: +31 (0)36 535 97 00 | Fax: +31 (0)36 535 97 40
E-mail: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com

 **victron energy**
BLUE POWER

6.7 Simulación en PVSYS



PVsyst V7.4.2

VC0, Fecha de simulación:
08/11/23 14:03
con v7.4.2

Proyecto: Tesis CH

Variante: Tesis_Ch_2

Resumen del proyecto

Sitio geográfico Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México Mexico	Situación Latitud 19.44 °N Longitud -99.07 °W Altitud 2233 m Zona horaria UTC-6	Configuración del proyecto Albedo 0.20
Datos meteo Mexico City/Belisario Domínguez PVGIS api TMY		

Resumen del sistema

Sistema independiente	Sistema independiente con baterías		
Orientación campo FV Plano fijo Inclinación/Azimut 15 / 0 °	Necesidades del usuario Consumidores domésticos diarios Constante durante el año Promedio 1.0 kWh/Día		
Información del sistema		Paquete de baterías	
Generador FV		Tecnología	Lithium-ion, LFP
Núm. de módulos	1 unidad	Núm. de unidades	2 unidades
Prnom total	330 Wp	Voltaje	28 V
		Capacidad	181 Ah

Resumen de resultados

Energía solar utilizable	352.87 kWh/año	Producción específica	1069 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR	47.12 %
Energía faltante	0.00 kWh/año	Energía solar disponible	586.59 kWh/año	Fración solar (SF)	100.00 %
Exceso (sin usar)	0.00 kWh/año				

Tabla de contenido

Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema.	3
Necesidades detalladas del usuario	4
Resultados principales	5
Diagrama de pérdida	6
Gráficos predefinidos	7

Parámetros generales

Sistema independiente		Sistema independiente con baterías	
Orientación campo FV			
Orientación		Configuración de cobertizos	
Plano fijo		Sin escena 3D definida	
Inclinación/Azimut	15 / 0 °	Modelos usados	
		Transposición	Perez
		Difuso	Importado
		Circunsolar	separado
Necesidades del usuario			
Consumidores domésticos diarios			
Constante durante el año			
Promedio	1.0 kWh/Día		

Características del generador FV

Módulo FV		Batería	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	AE 330DGLM6-60 (1500)	Modelo	LFP-CB 12.8V / 160Ah
(Base de datos PVsyst original)		Tecnología	Lithium-ion, LFP
Unidad Nom. Potencia	330 Wp	Núm. de unidades	2 en series
Número de módulos FV	1 unidad	Descarga mín. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	330 Wp	Energía almacenada	3.6 kWh
Módulos	1 Cadena x 1 En series	Características del paquete de baterías	
En cond. de funcionam. (50°C)		Voltaje	28 V
Pmpp	300 Wp	Capacidad nominal	161 Ah (C10)
U mpp	31 V	Temperatura	Promedio entre fijo 20 °C y Exterior
I mpp	9.7 A		
Controlador		Control de gestión de la batería	
Fabricante	Generic	Comandos de umbral como	Voltaje de batería
Modelo	ProStar Gen 3 PS-30	Cargando	44.9 / 26.6 V
Tecnología	MP Transistor en serie	Descarga	12.6 / 26.1 V
Coef. temp.	-5.0 mV/°C/Elem.		
Potencia FV total			
Nominal (STC)	0.330 kWp		
Total	1 módulos		
Área del módulo	1.7 m²		
Área celular	1.5 m²		

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica	Pérdidas de cableado CC	Pérdida diodos serie						
Temperatura módulo según irradiancia	Res. conjunto global	Caída de tensión						
Uc (const)	54 mΩ	0.7 V						
Uv (viento)	Frac. de pérdida	Frac. de pérdida						
20.0 W/m²K	1.5 % en STC	2.0 % en STC						
0.0 W/m²K/m/s								
Pérdida de calidad módulo	Pérdidas de desajuste de módulo							
Frac. de pérdida	Frac. de pérdida							
-0.4 %	0.0 % en MPP							
Factor de pérdida IAM								
Efecto de incidencia (IAM): Fresnel, revestimiento AR, n(vidrio)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

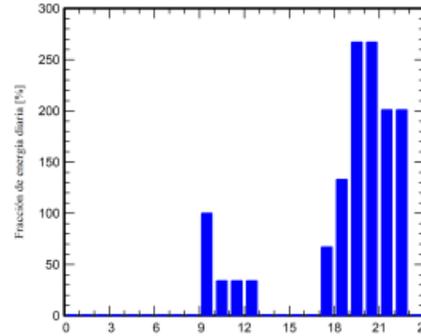
Necesidades detalladas del usuario

Consumidores domésticos diarios, Constante durante el año, promedio = 1.0 kWh/día

Valores anuales

Uso	Núm.	Potencia W	Uso Hor/día	Energía Wh/día
Laptop	1	200/lámpara	4.0	800
Power bank	2	33/apar.	4.0	264
Speaker	1	33/apar.	4.0	132
Celular	2		2	132
Stand-by consumers			24.0	24
Energía diaria total				1352

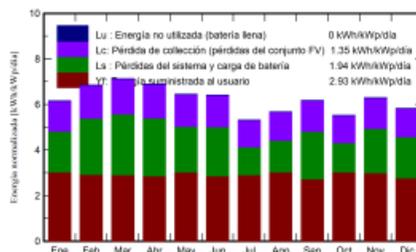
Distribución por hora



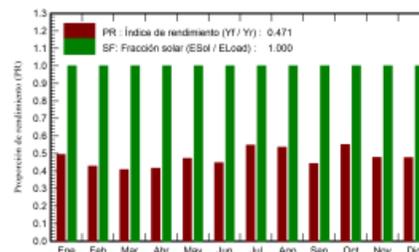
Resultados principales

Producción del sistema			
Energía solar utilizable	352.87 kWh/año	Proporción rend. PR	47.12 %
Energía solar disponible	588.59 kWh/año	Fracción solar (SF)	100.00 %
Exceso (sin usar)	0.00 kWh/año		
Pérdida de carga		Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)	
Fracción de tiempo	0.0 %	Ciclos SOW	93.7 %
Energía faltante	0.00 kWh/año	SOW estático	90.5 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac proporción
Enero	158.9	187.4	49.40	0.000	0.000	31.10	31.10	1.000
Febrero	168.0	188.6	49.84	0.000	0.000	27.04	27.04	1.000
Marzo	207.1	216.8	57.16	0.000	0.000	29.74	29.74	1.000
Abril	206.0	202.6	53.49	0.000	0.000	28.39	28.39	1.000
Mayo	207.5	195.8	51.56	0.000	0.000	31.10	31.10	1.000
Junio	204.3	188.2	49.66	0.000	0.000	28.39	28.39	1.000
Julio	171.9	161.0	42.34	0.000	0.000	29.74	29.74	1.000
Agosto	177.8	172.1	45.30	0.000	0.000	31.10	31.10	1.000
Septiembre	182.9	181.0	47.75	0.000	0.000	27.04	27.04	1.000
Octubre	156.8	168.0	44.21	0.000	0.000	31.10	31.10	1.000
Noviembre	159.3	185.4	48.99	0.000	0.000	29.74	29.74	1.000
Diciembre	149.0	177.4	46.89	0.000	0.000	28.39	28.39	1.000
Año	2149.5	2224.3	588.59	0.000	0.000	352.87	352.87	1.000

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E_Load	Necesidad energética del usuario (Carga)
E_Avail	Energía solar disponible	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada / ECarga)
EUnused	Energía no utilizada (batería llena)		
E_Miss	Energía faltante		

