ALGORITMO DE CONTROL DE ENERGÍA PARA VEHÍCULO MÓVIL BASADO EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS

DANIELA DEL PILAR USCÁTEGUI BERNAL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C
2013

ALGORITMO DE CONTROL DE ENERGÍA PARA VEHÍCULO MÓVIL BASADO EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS

DANIELA DEL PILAR USCÁTEGUI BERNAL
Código: 1801534

Informe de Investigación realizado para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica

Director:
Ing. OLGA LUCIA RAMOS SANDOVAL. MSc
Co-Director:
Ing. DARÍO AMAYA HURTADO. Ph.D

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C
2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Informe final de investigación del proyecto titulado Algoritmo de Control de Energía para Vehículo Móvil basado en Energías Alternativas, aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Militar Nueva Granada para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica.

Director

Co-Director

Firma Jurado 1

Firma Jurado 2

Firma Jurado 3

BOGOTÁ - Diciembre de 2013

Con todo mi amor para las personas que día a día me acompañan sin importar las circunstancias, que con ayuda de su incondicionalidad y afecto logré llegar hasta este punto; por comprenderme y motivarme cuando sentía que se acababa la fuerza, a ustedes por siempre mi corazón y mi gratitud.

Papi, Mami y Negris!

AGRADECIMIENTOS

Principalmente le agradezco a Dios por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera y por brindarme día a día un camino de enseñanzas, anécdotas, sacrificios, y por encima de todo de felicidad.

Infinitas gracias doy a mis padres Germán y Consuelo, por su apoyo incondicional y acompañamiento en este arduo proceso, por formarme en un hogar con valores y con mucho amor y principalmente por dejarme la mejor herencia que puede existir, una excelente educación en todos los aspectos. Los amo.

A mi hermanita Alejandra, por ser parte importante de mi vida y representar la alegría de nuestra familia, por ser mi principal motivación para cada día ser una mejor persona y ser un ejemplo en su vida.

Agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo de todos mis profesores, pues sin sus enseñanzas no estaría culminando este camino. Agradezco especialmente a mis tutores y profesores Olga y Darío, por ser esa guía tan importante al final del camino y su acompañamiento incondicional; y al profesor José Quintero por su dedicación y gran aporte al desarrollo del trabajo.

A mis amigos y compañeros, por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que aportaron mucho en mi formación profesional.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones Módulo FV. 22
Tabla 2. Especificaciones Motores. 23
Tabla 3. Especificaciones de la Batería 23
Tabla 4. Especificaciones Regulador 23
Tabla 5. Especificaciones Radiómetro. 26
Tabla 6. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 200w/m^2. 26
Tabla 7. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 400w/m^2. 27
Tabla 8. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 600w/m^2. 28
Tabla 9. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 800w/m^2. 29
Tabla 10. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 1000w/m^2. 30
Tabla 11. Especificaciones Complementarias del Módulo 31
Tabla 12. Variación de la Potencia del Módulo FV en términos de la Radiación 35
Tabla 13. Medición del nivel de carga mediante la tensión en bornes de la batería 39
Tabla 14. Especificaciones Técnicas Batería NP7-12 40
Tabla 15. Corriente de descarga a diferentes tasas de descarga. 40
Tabla 16. Tiempo de descarga vs. Carga Consumida 42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Piranómetro CMP 3. 14
Figura 2. Piranómetro de silicio GSM 10.7. 15
Figura 3. Radiómetro. 15
Figura 4. Luxómetro. 16
Figura 5. Curvas de Descarga de una batería. 21
Figura 6. Diseño CAD del vehículo solar. 24
Figura 7. Prototipo Funcional - Vehículo solar. 24
Figura 8. Curva Característica del Panel a 200 w/m^2. 27
Figura 9. Curva Característica del Panel a 400 w/m^2. 28
Figura 10. Curva Característica del Panel a 600 w/m^2. 29
Figura 11. Curva Característica del Panel a 800 w/m^2. 30
Figura 12. Curva Característica del Panel a 1000 w/m^2. 31
Figura 13. Radiación Solar (Noviembre) en Colombia. 33
Figura 14. Acercamiento Radiación Solar en Bogotá (Noviembre). 34
Figura 15. Promedio mensual radiación global en Bogotá. 34
Figura 16. Potencia Generada por el Módulo FV variando radiación 36
Figura 17. Gráfica del % Carga vs. Voltaje en la Batería. 39
Figura 18. Curvas de Descarga para Baterías NP. 41
Figura 19. Relación del Tiempo de descarga vs. Carga Consumida 42
Figura 20. Diagrama en bloques del Sistema Propuesto 44
Figura 21. Circuito de Conmutación Propuesto 45
Figura 22. Circuito del Sistema FV 46
Figura 23. Circuito de Carga Convencional DC 46
Figura 24. Diagrama de Flujo Algoritmo Control 48
Figura 25. Bloques utilizados en LabVIEW para ingresar configuraciones iniciales 50
Figura 26. Adquisición Nivel de Radiación y Cálculo de la Potencia 51
Figura 27. Adquisición del Voltaje en la Batería 52
Figura 28. SubVI - Cálculos de la Batería 52
Figura 29. Proceso de Verificación de Carga 53
Figura 30. GUI – Ventana #1: Gráficas del Panel. 55
Figura 31. GUI – Ventana #2: Potencia del Panel. 56
Figura 32. GUI - Ventana #3: Motores y Cargador Complementario. 56
Figura 33. GUI - Ventana #4: Monitoreo de la Batería. 58
Figura 34. GUI - Ventana #5: Monitoreo Vehículo 58
Figura 35. Secuencia para oprimir los botones. 60
Figura 36.GUI - Curva Característica del Panel a 200 w/m^2. 62
Figura 37.GUI - Curva Característica del Panel a 400 w/m^2. 62
Figura 38. GUI - Curva Característica del Panel a 600 w/m^2. 63
Figura 39. GUI - Curva Característica del Panel a 800 w/m^2. 63
Figura 40. GUI - Curva Característica del Panel a 1000 w/m^2. 64
Figura 41. Imagen en detalle de la variación de la Potencia. 64
Figura 42. GUI - Variación de la Potencia del MFV. 65
Figura 43. Resultados Potencia GUI y Potencia Teórica. 65
Figura 44. GUI - Cálculos Motor y Cargador Complementario. 66
Figura 45. Monitoreo de la Batería. 67
Figura 46. Monitoreo del Vehículo antes de llegar. 67
Figura 47. Monitoreo Vehículo cuando llegó. 68

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 1
1.1 JUSTIFICACIÓN 3
1.2 OBJETIVOS 4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL 4
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
1.3 ALCANCE 5
2. MARCO TEÓRICO 6
2.1 ESTADO DEL ARTE 6
2.2 MARCO CONCEPTUAL 10
2.2.1 La Energía y su transformación 10
2.2.2 Energía Solar 11
2.2.3 Radiación Solar 13
2.2.4 Instrumentos de Medición 14
2.2.5 Sistema Fotovoltaico 16
2.2.6 Módulos Fotovoltaicos 17
2.2.7 Baterías 18
3. INGENIERÍA DEL PROYECTO 22
3.1 DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO 22
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO 25
3.2.1 Selección Instrumento de Medición 25
3.2.2 Obtención de las Curvas Características 26
3.2.3 Cálculo Valores Complementarios del Módulo FV 31
3.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL PANEL RESPECTO A LA RADIACIÓN 33
3.4 CARGA DE LOS MOTORES 36
3.4.1 Torque 37
3.4.2 Velocidad Angular 37
3.4.3 Potencia Mecánica 37
3.4.4 Potencia Eléctrica 37

3.5 CARACTERIZACIÓN DE LA BATERÍA 38
3.5.1 Nivel de Carga en la Batería 38
3.5.2 Tiempo de Descarga en la Batería 40
3.5.3 Tiempo de Carga de la Batería 43
3.6 DISEÑO CIRCUITO ALTERNATIVO 43
3.7 DURACION DEL RECORRIDO 47
3.8 ALGORITMO DE CONTROL 48
3.8.1 Configuraciones Iniciales 50
3.8.2 Botón Start 50
3.8.3 Adquisición de señales (DAQ) 51
3.8.4 Garantía Suficiencia Energética 53
3.8.5 Activación Circuito de Carga Complementario 54
3.9 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO (GUI) 54
4. PRUEBAS Y RESULTADOS 61
4.1 CURVAS Y DATOS COMPLEMENTARIOS DEL MÓDULO FV 62
4.1.1 Curvas del Módulo FV a 200 w/m^2 62
4.1.2 Curvas del Módulo FV a 400 w/m^2 62
4.1.3 Curvas del Módulo FV a 600 w/m^2 63
4.1.4 Curvas del Módulo FV a 800 w/m^2 63
4.1.5 Curvas del Módulo FV a 1000 w/m^2 64
4.2 VARIACIÓN DE LA POTENCIA 64
4.3 CÁLCULOS DE LOS MOTORES 66
4.4 CÁLCULOS Y MONITOREO DE LA BATERÍA 66
4.5 MONITOREO DEL VEHÍCULO 67
5. CONCLUSIONES 69
6. RECOMENDACIONES 70
REFERENCIAS 71

Resumen

En el siguiente trabajo se presenta el diseño, simulación y prueba de un algoritmo de control de energía para un vehículo que funcione con energías alternativas, el cual garantizará la energía suficiente para realizar un recorrido determinado por el usuario. El vehículo con el que se trabajó en este caso, está compuesto por un panel solar, dos motorreductores, dos ruedas principales y una secundaria. El algoritmo de control se diseñó y simuló con ayuda del software de desarrollo de sistemas NI LabVIEW® y el circuito de conmutación en Proteus. Adicionalmente se presentan los datos de la caracterización del panel en función a la radiación sensada y los resultados de la implementación del algoritmo; las cuales determinan que con una eficiencia del panel solar de 11.56% y radiación variable entre 1 y 2 kWh/m^2 (radiación normal en Bogotá) se podrá tener un tiempo útil de carga de aproximadamente 1 h 15 min, energía suficiente para realizar recorridos de hasta 2.26 Km; éstos resultados varían de acuerdo al tamaño y carga de los motores del vehículo con el que se pruebe el algoritmo. Adicionalmente se incluye el diseño de un sistema de carga de respaldo, que se activa cuando el panel no tiene la suficiente potencia para recargar la batería.

Abstract

In the following report is presented design, simulation and testing of a control energy algorithm for a vehicle that work with alternative energy, which ensures enough energy to perform a user-specified travel. The vehicle with which has worked in this case, consists of a solar panel and two geared motors, two main wheels and one secondary. The control algorithm is designed and simulated using the software system development NI LabVIEW ® and switching circuit in Proteus. Further are presented Characterization data of the panel according to the sensed radiation and results of implementation of the algorithm; which determine that with an efficiency of 11.56% in the solar panel and variable radiation between 1 and 2 kWh/m^2 (normal radiation for Bogotá city) may have a useful load time of about 1 h 15 min, enough energy for tours to 2.26 Km; these results vary according to the size and loading of vehicle engines with which the algorithm is proved. Additionally included designing a charging system supporting, which is activated when the panel does not have enough power to recharge the battery.

INTRODUCCIÓN

Cada día es más común ver como el tema de la generación energética toma un papel bastante relevante en los desarrollos económicos de los diferentes países interesados en la problemática ambiental causada principalmente por la contaminación, y paralelamente a la problemática en términos de energía que se avecina debido a la lenta pero significativa disminución de las reservas de petróleo en el mundo. [1]

Los gobiernos y distintas entidades han venido apostando por proyectos innovadores donde el principal objetivo es mejorar la forma en que se aprovechan los recursos energéticos existentes; ejemplos representativos de esto se puede ver en países como África, donde diferentes naciones apoyaron un proyecto que prevé que en el año 2050 el 15 por ciento de las necesidades energéticas de Europa se cubran con plantas de energías renovables en los países del norte de África [2], o sin tener que atravesar mares en Chile se anunció la construcción de El Salvador, el proyecto de energía solar más grande del mundo, en el desierto de Atacama con el que se busca producir aproximadamente 200 horas-gigawatt de energía solar por año, suficiente para abastecer de energía a aproximadamente 60.000 personas en dicho país. [3]

Como consecuencia de esto se han aplicado políticas que exigen mejoras en la eficiencia energética de todo tipo de dispositivos e implementación de normatividades ambientales y de ahorro en los lineamientos de responsabilidad social en el sector empresarial. [4] La idea de todo esto es que a futuro se logre una implementación en masa de los sistemas energéticos que funcionan con energías limpias o comúnmente llamadas energías renovables. Por lo tanto cuando se desea trabajar con cualquier sistema generador, es importante tener en cuenta el componente técnico sin dejar de lado el impacto socioeconómico y ambiental, realizando de esta manera un estructuramiento completo en la propuesta y el diseño de nuevos dispositivos.

Hablando específicamente de los sistemas fotovoltaicos, es evidente como se han venido masificando y reduciendo sus costos de instalación, siendo una de las principales alternativas para amortiguar el golpe por la reducción de los combustibles fósiles. La instalación de sistemas fotovoltaicos se utiliza comúnmente en zonas o sectores donde es muy difícil acceder a la red principal de distribución eléctrica,

derivando con el paso del tiempo muchas más aplicaciones para estos sistemas alternativos. [5]

Este trabajo se enfoca en el aprovechamiento de la energía solar mediante paneles fotovoltaicos, aplicado a la alimentación de vehículos móviles; razón por la cual a lo largo del mismo se hablará de todo lo relacionado con este tipo de energía renovable, como es su transformación en energía eléctrica y terminando con la explicación del diseño y funcionamiento de un algoritmo de control para baterías de vehículos que funcionen principalmente con energías alternativas.

El objetivo de este algoritmo es garantizar la carga suficiente en los vehículos para realizar un recorrido previamente definido por el usuario y así evitar que se apague durante el trayecto, cosa que si pasa puede causar daños graves en la batería y circuito eléctrico del vehículo; ayudando cuando sea necesario al panel con un circuito alterno que funciona con energía convencional DC.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Dentro de un concepto ambiental y económico existen muchos inconvenientes a la hora de comercializar y fabricar en masa vehículos solares; cuando éstos apenas empezaban a salir como producto de proyectos académicos o simplemente de personas emprendedoras con ganas de aportar en lo más mínimo al medio ambiente, se empezaron a ver los inconvenientes que tendrían estos coches.

El principal inconveniente de la energía solar y que para nadie es un secreto, es que es demasiado difusa, no es constante y para generar grandes potencias es necesario así mismo cubrir un área considerablemente mayor, por lo que los primeros carros que no contaban con un sistema de almacenamiento de energía no podían cubrir recorridos muy grandes. La solución a esto fue implementar baterías para almacenar dicha energía captada, lo cual benefició en cierto modo a la distancia que podía recorrer el vehículo, pero agrego más peso a éste por lo que el carro necesitaba más potencia y gastaba en menor tiempo la energía de la batería.

A medida que los años han pasado y los avances tecnológicos han mejorado mucho en el campo de las energías renovables, paneles solares y tamaños de las baterías, paralelamente han mejorado las características y especificaciones de los vehículos solares, pero no todo está aún resuelto, ya que aún con todo esto la luz solar sigue siendo algo difícil de captar y mantener constante, es una variable que por el momento (no se sabe más adelante) no puede ser controlada por el ser humano.

Este proyecto tiene como fin aportar a la solución de un pequeño problema que poseen los usuarios de este tipo de tecnología como lo es el conocimiento exacto de la energía que poseen sus vehículos y así mismo la necesidad de saber qué tanta distancia va a poder recorrer con ésta.

La importancia del proyecto radica en evitar que el carro se apague y quede en la mitad del camino, ocasionando que el usuario no logre finalizar el trayecto que tenía presupuestado.

1.2 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un algoritmo de control, que garantice la energía suficiente para la realización de un determinado recorrido, basado en energías de carga alternativas.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar un panel solar, en función de la radiación solar de la ciudad de Bogotá.

- Realizar un análisis de la instrumentación requerida para la medición de las diferentes longitudes de onda de la radiación solar.

- Diseñar un sistema de carga de batería, basado en el cálculo necesario de energía, que garantice la realización de un determinado recorrido de un vehículo móvil caracterizado.

- Diseñar y simular un algoritmo del control de carga, que garantice la energía suficiente para la realización de un recorrido, por un vehículo móvil caracterizado, regulando el porcentaje de carga eléctrica requerido en función de la radiación solar existente.

1.3 ALCANCE

El presente proyecto entregará a la Universidad Militar Nueva Granada un algoritmo para el control del sistema de energía de un vehículo solar, que busca mejorar la interacción entre el usuario y su vehículo, ya que no sólo tendrá el dato de carga de la batería, sabrá si el recorrido que desea hacer lo soporta esta energía y adicionalmente si no es suficiente se le informará (dependiendo de las condiciones de luz en el momento) un aproximado de tiempo de carga.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explican y se exponen los antecedentes, las teorías y las investigaciones que se tomaron como base para iniciar la contextualización y posterior desarrollo de este trabajo.

Se divide en dos subcapítulos, en el primero se hace un paneo general del estado del arte y las investigaciones que se han desarrollado en el campo de los vehículos solares partiendo del campo internacional hasta llegar a lo nacional. En el segundo subcapítulo se contextualiza la teoría que se necesitó conocer previamente para cumplir con el objetivo del trabajo.

2.1 ESTADO DEL ARTE

Con el paso del tiempo se ha visto como la evolución del hombre ha estado ligada con el descubrimiento de sistemas de generación energética, que ha usado para su beneficio. Recordando un poco de historia, el tema de la energía inicia con los productores de la cadena alimenticia como lo son las plantas, las algas y las cianobacterias que captan energía del sol. Todas las cadenas alimenticias inician con el sol, y gran parte de la energía captada se pierde en forma de calor. [6]

Transcurrieron los años y el primer gran avance en la compresión humana de la energía fue el dominio del fuego. El uso del fuego para cocinar y calentarse y el uso de la madera como combustible, se remonta a aproximadamente 400.000 años. [7] La quema de madera y otras formas de biomasa, llevó a la construcción de hornos para fabricar cerámicas y refinación de metales a partir de minerales. La primera evidencia de carbón como combustible fue hace 2.400 años. [8]

Sin embargo luego de descubrir el fuego, el ser humano aprendió a utilizar la energía del sol, el viento, el agua y los animales para diferentes aplicaciones como transporte, calefacción, refrigeración, agricultura, etc. El uso del fuego y la quema de biomasa se mantuvieron constantes hasta el Siglo XIX con la Revolución Industrial. Luego con la Revolución Industrial se introduce el carbón, el cual es la fuente principal de combustible hasta mediados del Siglo XX, cuando es reemplazado por el petróleo. [9]

La siguiente gran revolución se dio cuando se pudo generar electricidad y a su vez transmitirla a largas distancias. En 1880, Nikola Tesla diseñó la corriente AC, motores y transformadores, con lo que aparte de transmitir la electricidad se podía generar a gran escala, en un solo lugar y transmitirla eficientemente a diferentes lugares, lo que fue una gran ventaja. [10]

A pesar de que los seres humanos han empleado las energías renovables rústicamente desde hace años, hasta hace poco se empezó a tomar enserio este tema, por ejemplo, a pesar de que se usa el agua hace miles de años para mover molinos, las hidroeléctricas son algo reciente. Las primeras centrales hidroeléctricas fueron construidas a finales del siglo XIX, sin embargo, a mediados del siglo XX ya eran una fuente importante de electricidad. A partir del 2010, la energía hidroeléctrica produce más del 15% de la electricidad mundial. [11]

Y si se habla de la energía solar, que se puede decir es contemporánea a la hídrica, ha sido hasta el momento una de las energías más desaprovechadas principalmente por los altos costos de fabricación e instalación de los sistemas fotovoltaicos. Como resultado la energía solar proporciona menos del 1% de la electricidad mundial, a pesar de ser la única fuente de energía primaria que puede generar electricidad sin depender de la ley de Faraday. Las partículas de la luz pueden proporcionar la energía para el flujo de electrones directamente. [12]

Hoy por hoy los tiempos han cambiado y se están viviendo las consecuencias de la contaminación acumulada durante años, producida principalmente por los combustibles fósiles, razón por la que la sociedad se ha visto forzada a buscar fuentes de energía alternativa con menor índice de contaminación y un aparente menor costo. Uno de los principales retos está en implementar sistemas de generación de energías limpias en vehículos y así sustituir el funcionamiento por combustión interna, que tanto daño ha causado.

Se considera que una energía es alternativa o renovable cuando se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables como el sol, el viento, el agua, la vegetación o el calor interior de la tierra. Algunos ejemplos de sus aplicaciones se ven en la navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la luz del sol. Tomando el caso particular de Colombia, su energía primaria es la que proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, seguida por los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando, como se ha mencionado reiteradamente. Por eso el Gobierno Nacional últimamente ha invertido

en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables, para solucionar el problema de la crisis energética mundial y contribuir a un medio ambiente más limpio. Según La Unidad de Planeación Nacional Minero Energética (UPME), las energías renovables cubren actualmente cerca del 20% del consumo mundial de electricidad. [13]

Presentando un crecimiento significativo en los últimos años, una de las energías que se ha vuelto más común y asequible, es la Energía Radiante, Lumínica o Solar como comúnmente se conoce. En nuestra cotidianidad se ven innumerables proyectos donde incorporan dispositivos que funcionan a base de esta energía que van desde Sistemas de Alumbrado de Exteriores y Calentadores hasta Cargadores Multifuncionales para Dispositivos Electrónicos.

La innovación en Vehículos Solares a diario tiene avances, sin embargo la primera vez que se habló acerca de autos solares se remonta a 1982, cuando el piloto de carreras Larry Perkind junto a Hans Tholstrup construyeron y manejaron el Primer Auto Solar llamado el "BP Quiet Achiever" desde Perth hasta Sídney (con un total de 4058 Km), lo que les tomó 20 días a una velocidad promedio de 23 km/h. Con el desarrollo de este proyecto se demostraron 3 cosas básicamente, que la energía solar era una fuente muy importante y suficientemente desarrollada para sustituir a los combustibles fósiles, que el transporte terrestre tiene alternativas no contaminantes como el vehículo eléctrico, y crear el interés en el mundo científico por el desarrollo de ambas. [14]

El primer fruto de este propósito se dio en 1985, cuando el suizo Urs Muntwyler creó la primera competencia mundial de autos solares el "Tour de Sol", el cual creó una gran expectativa y atrajo la mirada de todo el mundo. Desde entonces esta carrera se celebra anualmente en Europa. En 1987 la General Motors ganó el World Solar Challenge su automóvil solar, el "Sunraycer"; lo que los llevo a diseñar y construir con miras comerciales, uno de los autos eléctricos más prometedores; el "EV1". Este automóvil es capaz de desarrollar velocidades de 160 km/h y tiene una autonomía de 190 km a una velocidad de 90 km/h. [14]

Posteriormente gracias al avance tecnológico que se vivió en Europa y Japón se pudo desarrollar una línea de autos denominados "Micromachines", que cuentan con pequeños motores, tanto de combustión o eléctricos, y adicionalmente con una gran infraestructura tecnológica y de fácil desarrollo. Las compañías europeas como Mercedes Benz, Chrysler, BMW, Peugeot, Renault y japonesas como Mitsubishi y Toyota, entre otras han establecido una colaboración con otros fabricantes para

desarrollar y producir pequeños vehículos alimentados por diferentes fuentes de energía donde se desarrollan nuevas tecnologías. [15]

Retomando el caso colombiano, la evolución del auto solar ha sido muy escasa, aunque existen algunos prototipos del estilo “micromachine” elaborados al interior del país, que utilizan pequeños motores. [15]

Si se centra al caso particular de Bogotá, la escasa presencia de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos, así como el poco interés por las fuentes de energía renovable, explica el número tan escaso de estaciones meteorológicas especializadas y los pocos esfuerzos por estudiar y explotar el recurso solar disponible. Se suma a ello la ausencia de incentivos por parte del gobierno y/o las empresas de energía para que los usuarios se decidan a instalar sistemas fotovoltaicos interconectados a la red en sus residencias. [16]

Recientemente en nuestro país uno de los avances más significativos en el campo de los vehículos solares viene desde la Universidad Eafit en conjunto con E.P.M, los cuales crearon un vehículo ultraliviano capaz de alcanzar 100 kilómetros por hora con la energía de una tostadora llamado “Primavera”, vehículo que representará al país en el World Solar Challenge 2013 (Australia), la carrera más representativa de su categoría en el mundo. Durante dos años, el equipo Eafit-EPM Solar Car trabajó intensamente para lograr un prototipo elaborado 100 % con materiales colombianos, pero que a la vez fuera competitivo en el ámbito internacional. [17]

En el ámbito académico se ha incursionado de manera interesante en el área de la energía solar, realizando aplicaciones que van desde calentadores diseñados para generar un cuidado ambiental o mejorar la calidad de vida de una población específica [18], [19], [20], [21]; pasando por sistemas fotovoltaicos para apoyar el alumbrado de viviendas [22] y urbanizaciones [23], y llegando al tema de este trabajo que es el control de vehículos solares.

En [24] diseñan un vehículo que funciona con un sistema fotovoltaico el cual aparte de ser autónomo tiene como objetivo desarrollar y realizar algoritmos de generación de trayectorias optimizando al máximo el sistema energético del vehículo, que es controlado mediante una CPU empotrada, ésta haciendo uso del algoritmo de gestión, es capaz de navegar por el entorno forma autónoma, evitando obstáculos y llegar a la meta, realizando paralelamente una supervisión de la energía solar recibida, energía en las baterías y energía consumida. El algoritmo de control gestiona el

consumo moderado de energía en el vehículo variando su velocidad, su dirección y sentido, para que en ningún momento se quede sin energía.

Otro ejemplo se ve en [25] donde desarrollan un vehículo híbrido experimental, denominado Pampa Solar con el que obtuvieron el premio al uso más eficiente de la energía solar entre los demás vehículos participantes puesto que lograron un uso total de 70% de energía solar, 9% de energía eléctrica total aportada por el generador activado mediante el pedaleo del conductor y 21% de energía provista por la batería. Otro proyecto donde diseñan un vehículo solar para competición, llamado El Despertaferro, diseñado por el equipo Mediterrani para correr en la SUNRACE 2000 en Australia. Entre el 2006 y el 2007 el equipo MontSENY implementó una serie de modificaciones en el vehículo con el objetivo de correr a través de los Pirineos en el Rallye PHEBUS. Con los estudios desarrollados determinan los diferentes beneficios de instalar en el vehículo baterías de 7Ah, 12 Ah y 16 Ah. [26]

En [27] se realiza la implementación de un sistema eléctrico que se alimenta con energía solar en un vehículo monoplaza propulsado por un motor eléctrico, mediante la captación de energía durante el día que es transformada en electricidad y conectada a los cargadores las baterías son cargadas entre tres a cuatro horas en un día soleado, cuando la carga está completa los cargadores dejan de funcionar y por medio de un switch se pone en funcionamiento el motor eléctrico que da movimiento al vehículo monoplaza adoptando según el terreno las marchas que tiene adaptado al mismo, y en un día nublado la carga se duplica, en funcionamiento permite utilizar la energía acumulada en un lapso de una hora de autonomía.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

En este subcapítulo se describirán ciertos marcos conceptuales relevantes para el análisis del trabajo.

2.2.1 La Energía y su transformación

Muchas veces se utiliza el término energía en diferentes contextos con la idea de que se tiene claro cuál es su significado, pero a la hora de definirla se sabe en realidad ¿qué es la energía?

La definición de energía no suele ser algo fácil de conceptualizar, más que es un término ligado a un sin número de conceptos abstractos y con diversidad de significados. [28] La definición científica de la energía sería algo así como la capacidad de un sistema para llevar a cabo un trabajo y en el área de la física es una propiedad intrínseca de los objetos que permite generar o inducir cambios a ellos mismos o en otros objetos. [29] Pero hablando en términos generales, es posible decir que la energía es aquello que hace posible todas las cosas de nuestra cotidianidad, ya que como humanos usamos la energía para ir a trabajar, para encender los electrodomésticos, para el transporte, para producir alimentos y productos, para iluminar, etc.

La energía se presenta de muchas maneras en el diario vivir, como la energía gravitatoria, la energía cinética, la energía mecánica, la energía eléctrica, la energía térmica, la radiación, la energía de las olas, la energía química y la energía nuclear. Recordando que la cantidad total de energía siempre se conserva y la forma de energía puede cambiar en el tiempo, pero la cantidad total no cambia. [30].

2.2.1.1 Unidades de Energía. La unidad de energía es el Joule. La potencia es la energía por unidad de tiempo y se expresa en vatios. 1 vatio es 1 joule por segundo. [31]

$$Energía \rightarrow 1\ Joules$$

$$Potencia \rightarrow \frac{Energía}{Tiempo} \rightarrow Watts\ (W)$$

$$1\ Watt \rightarrow 1\frac{Joule}{Segundo}$$

Sin embargo cuando se está tratando con sistemas de generación energéticos hay que tener en cuenta una unidad un poco más práctica que es el kilovatio-hora (kWh), que representa la cantidad de potencia que se consume o genera en 1 hora. [31]

$$1\ kWh = 1kW * 1h = 3.6\ MJ$$

2.2.2 Energía Solar

La energía solar es energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol, generalmente es aprovechada por el ser

humano que la convierte en energía útil, ya sea para calentar algo o producir electricidad (como sus principales aplicaciones que se mencionaron al inicio del trabajo). Cada año el sol genera 4 mil veces más potencia que el índice anual de consumo mundial, por lo que su potencial es prácticamente ilimitado. La energía disponible en un lugar determinado de la superficie terrestre varía de acuerdo al día del año, la hora, la latitud y lo más importante la orientación de la tierra y del dispositivo receptor. Además, la energía solar requiere que se utilicen dispositivos especializados, que logren captar la energía proveniente del sol y la transformen en energía compatible con la aplicación que se va a desarrollar, así mismo, la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor. [32]

Existen dos alternativas posibles para realizar las transformaciones de la energía solar: la conversión fototérmica y la conversión fotovoltaica. La primera se refiere directamente a la transformación de la energía térmicamente y la segundo mediante un sistema fotovoltaico. [33]

2.2.2.1 **Energía Solar Térmica.** La energía solar térmica o también llamada termosolar, es la que resulta de la transformación de la energía solar en calor mediante el uso de colectores o paneles solares térmicos. Generalmente se utiliza para calentar agua u otro tipo de fluidos a temperaturas que se clasifican de la siguiente manera:

- Hasta 100°C: **Baja temperatura**;
- Desde 100°C hasta 300°C: **Mediana temperatura**;
- Mayores a 300°C: **Alta temperatura**.

Los sistemas de baja temperatura y media temperatura pueden ser posteriormente usados para calentar agua en la cocina o para uso doméstico en baños y duchas. Actualmente también se tiene la posibilidad de alimentar una máquina de refrigeración por absorción [34], que emplea energía solar térmica en lugar de electricidad para producir frío como lo haría un aparato de aire acondicionado tradicional. [35] Mientras que los sistemas de alta temperatura hacen referencia a grandes instalaciones donde el principal elemento es una torre paraboloide, o un campo de helióstatos que concentran la radiación solar en una torre central; normalmente se tratan de sistemas con una caldera central de la que se obtiene vapor a alta temperatura para usos térmicos o producción de electricidad. [36]

2.2.2.2 **Energía Solar Fotovoltaica.** La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene de convertir directamente la radiación solar en electricidad. Se basa en el

efecto fotoeléctrico, para lo cual es necesario utilizar celdas fotovoltaicas, que cuando son expuestas a la radiación solar dentro de ella se inicia una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras. [37]

2.2.3 Radiación Solar

Desde el sol llegan a la tierra un conjunto de radiaciones electromagnéticas como consecuencia de reacciones nucleares de fusión, dicho conjunto es conocido como Radiación Solar. Estas radiaciones llegan a la tierra de manera directa y difusa; la radiación directa es aquella que llega directamente del foco solar sin reflexiones o refracciones intermedias y puede concentrarse para ser posteriormente utilizada, mientras que la radiación difusa es emitida por la bóveda celeste diurna gracias a la reflexión y refracción que causan la atmósfera y las nubes sobre éstas; al ser difusa no es posible su concentración. [38]

La magnitud que mide la radiación solar se conoce como irradiación, que determina la energía que está llegando al sitio donde se está sensando por unidad de tiempo y área; su unidad es el $\frac{W}{m^2}$ (watt por metro cuadrado). [39] Para realizar estudios se toman dos conceptos principales, el primero es el de Radiación directa normal, es la radiación perpendicular a los rayos solares al exterior de la atmósfera; se le conoce comúnmente como constante solar, y tiene un valor medio de $1354\ \frac{W}{m^2}$. Este valor varia a medida que se va acercando a la superficie terrestre, ya que como se mencionó anteriormente al atravesar la atmósfera y las nubes pierden energía, en condiciones ideales llega a ser superior a los $1000\ \frac{W}{m^2}$. [40]

2.2.3.1 Cálculo de la Radiación. Para poder calcular la radiación solar global sobre una superficie, hay que conocer previamente la Radiación Directa (B), la Radiación Difusa (D) y el Albedo (R)[1]. A la suma de estas tres componentes se le llama Radiación Global (G). [41]

Para realizar el procedimiento de cálculo de la radiación sobre la superficie inclinada cada día del mes en estudio, se calculan los siguientes parámetros:

- **Declinación solar en radianes**; siendo d, el día central de cada mes.

[1] Albedo, es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma.

$$\delta = \frac{23.45 * \pi}{180} * sen\left(2\pi * \frac{d_y + 284}{365}\right)$$

Ecuación 1. Cálculo de la declinación solar.

- Distancia del Sol a la Tierra:

$$\xi_0 = 1 + 0.333 * \cos\left(2\pi * \frac{d_y}{365}\right)$$

Ecuación 2. Distancia del Sol a la Tierra.

- Ángulo de la puesta de sol en radianes:

$$\varpi_s = -Cos^{-1}(-tg\delta.tg\phi)$$

Ecuación 3. Ángulo de la puesta de sol en radianes.

2.2.4 Instrumentos de Medición

Para saber cuánta energía solar se puede generar, es fundamental conocer la cantidad de luz solar disponible en la ubicación donde se va a instalar el SV a horas específicas, para lograrlo se requiere el uso de dispositivos especiales. Como el espectro solar presenta diferentes longitudes de onda, hay que seleccionar el sensor para el tipo de radiación que se desea conocer. [42]

2.2.4.1 Piranómetro. Es un instrumento que sirve para medir la energía solar o la radiación global. Se usan también como instrumentos de referencia debido a su alta precisión. Es indispensable para sistemas con aplicaciones alimentadas solarmente. Poseen en su interior una plancha de metal pequeña unida a una termocupla. Esta plancha negra se calienta al sol y con la termocupla se mide el aumento de temperatura, la salida de la termocupla calculando a partir de la salida de la termocupla, la radiación instantánea total en el momento de la medición. [43]

Figura 1. Piranómetro CMP 3.

Fuente: http://www.tecnovex.com/piranometro

Fuente: http://www.tecnovex.com/piranometro

Figura 2. Piranómetro de silicio GSM 10.7.

2.2.4.2 Radiómetro. Es un instrumento que usa la reflexión y la absorción para medir la energía solar. [44]

Figura 3. Radiómetro.

Fuente:http://www.higielectronix.com.co/portal/productos/radiometros-luxometros.html

2.2.4.3 Luxómetro. Instrumento que mide la iluminancia de un ambiente. La unidad de medida es el lux (lx). Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, que son interpretados y se muestran en un indicador ya sea digital o análogo, que representa la escala de luxes. [45]

Figura 4. Luxómetro.

Fuente:
http://technometrik.com/index.php?option=com_virtuemart&view=category&virtuemart_category_id=7

2.2.5 Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico (SV) es aquel que convierte la energía solar en energía eléctrica mediante el uso de un módulo o panel fotovoltaico. La corriente que produce el panel es generalmente corriente continua (DC) a un voltaje de 12V, sin embargo este voltaje puede variar de acuerdo a las características del sistema; actualmente existen paneles de 24V [46]y 48V [47]principalmente de origen chino.

La energía eléctrica se almacena comúnmente en baterías, para evitar pérdidas y tener energía disponible cuando sea necesario, sin depender de la radiación. Para optimizar el funcionamiento del sistema, la acumulación debe estar regulada y dimensionada para garantizar un funcionamiento en periodos largos. [48]

Un elemento indispensable en un SV es el regulador, ya que éste es el encargado de regular la corriente que genera el panel, evitando de esta manera una sobrecarga y descarga de la batería. Actualmente los reguladores son automáticos y proporcionan al usuario diferentes alarmas visuales en caso de presentarse una falla en el sistema, prolongando de este modo la vida útil de los componentes del SV. [49]

Los componentes básicos de un SV, son:

- Módulo Fotovoltaico.
- Regulador de Carga.

- Batería.
- Driver de Potencia.

2.2.6 Módulos Fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico es un dispositivo que transforma la energía solar en energía eléctrica, el cual está compuesto por un conjunto de células FV bajo una configuración serie-paralelo. Del mismo modo que las células FV los módulos se pueden asociar entre sí en serie y en paralelo, con el fin de obtener una potencia deseada de acuerdo al tipo de aplicación para el que se vaya a instalar el SV. [50]

2.2.6.1 Parámetros de un Módulo FV. La respuesta de un panel se ve afectada por parámetros, que a la hora de diseñar un sistema FV, influyen demasiado en el comportamiento del sistema. Los parámetros más significativos son: [51]

- **Corriente de cortocircuito (Isc):** Es la máxima corriente que producirá el dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.

- **Voltaje a circuito abierto (Voc):** Es el voltaje máximo que se puede obtener sin dejar que pase corriente entre bornes de un panel solar (circuito abierto), es decir cuando la corriente es igual a cero.

- **Potencia Máxima (PM):** Máxima potencia que genera un módulo bajo condiciones determinadas de iluminación y temperatura, es la potencia correspondiente al par máximo Ipm-Vpm.

- **Eficiencia total del panel:** Es el cociente entre la potencia eléctrica producida y la potencia de la radiación que incide en el panel.

$$\eta = \frac{P}{G * A}$$

Ecuación 4. Eficiencia de un PV

Siendo **P** la potencia eléctrica generada por el panel en kW, **G** la radiación que incide en el panel en kW/m^2 y **A** el área total del panel en m^2.

- **Factor de forma (FF):** Este valor nos da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo éste tanto mejor cuánto más alto sea su factor de forma. Sirve para medir la forma de la curva que define las variables I y V.

$$Ff = \frac{Pmáx}{Voc * Isc}$$

Ecuación 5. Factor de Forma de un PV

2.2.6.2 Ecuación Característica de una célula FV. La siguiente ecuación representa todos los pares de valores (I/V) en que puede trabajar una célula fotovoltaica.

$$I = I_L - I_0 \left[exp \frac{e(V + IR_s)}{KT_c} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

Ecuación 6. Ecuación Característica de una célula FV

Donde **K** es la constante de Boltzman, **T** la temperatura en grados Kelvin, **e** la carga del electrón, **m** es el factor de idealidad del diodo, **Rs** es la resistencia serie y **Rp** la resistencia en paralelo.

Cuando se trabaja con módulos FV su ecuación característica dependerá del número de células FV en serie y paralelo por el que esté compuesto. Generalmente todas las células que componen un módulo FV son iguales, así que la corriente generada por el módulo sería igual a la corriente de la célula multiplicada por el número de células en paralelo, y el voltaje sería igual al voltaje de la célula multiplicado por el número de células en serie, de la siguiente manera: [50]

$$Corriente\ del\ Mód.FV \rightarrow Imfv = Ic * Np$$

$$Voltaje\ del\ Mód.FV \rightarrow\ Vmfv = Vc * Ns$$

Donde **Np** es el número de células FV en paralelo y **Ns** el número de células FV en serie por las que está compuesto el módulo.

2.2.7 Baterías

Es uno de los elementos principales en un sistema FV ya que tiene como función acumular químicamente energía eléctrica continua, que en este caso es suministrada

por el módulo FV, y suministrarla a los dispositivos electrónicos que alimenta el sistema. Si se le aplica una tensión, se crea una corriente que modifica la composición de sus elementos por el fenómeno de la electrolisis y se carga. Cuando la dirección de las reacciones químicas es inversa (es decir, cuando la energía de la batería es consumida), la batería devuelve la carga acumulada como un generador de corriente continua. [52]

2.2.7.1 Clasificación de las Baterías según su uso. [53]

- **Baterías de Arranque:** Se utilizan habitualmente en autos y motos (son de bajo precio). Pueden producir intensidades elevadas durante cortos periodos de tiempo (de 100 a 1000 amperios). Estas baterías soportan mal las descargas profundas.

- **Baterías Estacionarias:** Se usan generalmente en instalaciones de energía solar fotovoltaica, puesto que pueden llegar a descargarse hasta un 80% de su capacidad y soportan un gran número de descargas.

- **Baterías de Tracción:** Se suelen utilizar en carretillas elevadoras y apiladores de material, ya que resisten fuertes descargas de corriente y largos periodos de tiempo con niveles bajos de carga.

2.2.7.2 Clasificación de las Baterías según su construcción.

De acuerdo a los materiales empleados, las técnicas de construcción y las políticas de cada fabricante existen muchos tipos de baterías. Sin embargo todas ellas pueden clasificarse en dos grandes grupos: [53]

- **Baterías Líquidas:** Son conocidas como baterías abiertas porque van perdiendo poco a poco líquido electrolítico, razón por la que requieren mantenimiento (adición de agua destilada). En la actualidad existen baterías líquidas que no requieren mantenimiento gracias a la adición de limitadores de pérdidas de líquido electrolítico. Se consideran de este tipo las baterías de plomo-líquido, plomo-antimonio (PbSb), calcio-plata, etc. [54]

- **Baterías Solidas (Gel):** En estas baterías, el líquido electrolítico se encuentra fijado en un gel, así que no presentan pérdidas de líquido y por lo tanto no requieren mantenimiento. En el comercio actual son más caras que las

líquidas. Se consideran de este tipo las de baterías plomo-gel, AGM (Absorptive Glass Matt), © Optima, etc. [55]

2.2.7.3 Tipos de Carga.

- **Carga Manual:** Es el más común, en este tipo de carga el usuario es el encargado de desconectar el cargador al completar la carga. Si el cargador tiene una potencia significativamente mayor que la de la batería, se puede presentar sobrecargas. [56]

- **Carga Automática:** El cargador puede dejarse conectado durante largos periodos de tiempo ya que éste monitoriza totalmente la carga. Cuando se recupera el 100% de carga en la batería, el cargador detiene la carga automáticamente. [57]

- **Carga Rápida:** En este tipo de carga se alimenta la batería con una corriente muy elevada durante periodos cortos. Para evitar las sobrecargas, este tipo de carga viene limitada con un temporizador. [56]

- **Ripple free (Libre de Rizado):** Se utilizan cargadores con filtros electrónicos robustos que evitan cualquier interferencia con los terminales del auto. [53]

2.2.7.4 Tiempo de Carga. El tiempo ideal de carga de una batería se calcula con la siguiente ecuación: [58]

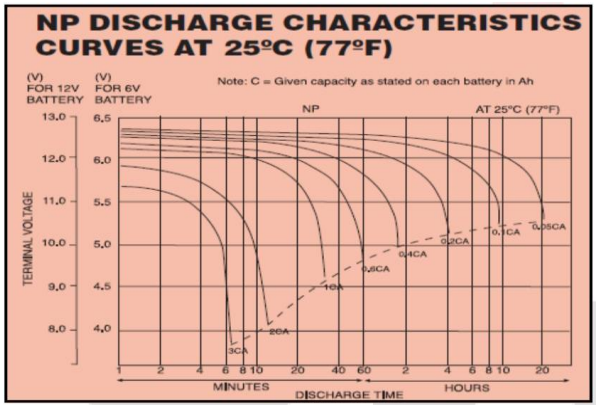
$$tiempo\ de\ Carga\ (h) = \frac{Q\ (Ah)}{Ic\ (A)}$$

Ecuación 7. Tiempo de Carga en horas de una batería

Donde **Q** es la capacidad en amperios-hora (Ah) de la batería e **Ic** es la corriente del cargador que se desea conectar a la batería.

2.2.7.5 Tiempo de Descarga. Generalmente los tiempos de descarga se calculan revisando las gráficas de descarga que dan los fabricantes de baterías, éstos dependen de la carga que está conectada a la batería, la carga nominal, la temperatura y el voltaje.

Figura 5. Curvas de Descarga de una batería.



Fuente: http://www.yuasabatteries.com/pdfs/NP_65_12_DataSheet.pdf

3. INGENIERÍA DEL PROYECTO

En este capítulo se presentan los análisis, diseños y el desarrollo del trabajo de investigación.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO

Para iniciar este trabajo se tiene como punto de partida el trabajo desarrollado dentro del grupo de investigación GAV perteneciente al Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Militar. En el trabajo se desarrollara el diseño e implementación de un vehículo alimentado por energía solar. El prototipo funcional contiene un sistema de almacenamiento de energía capaz de suministrar este recurso a dos motores para producir el movimiento de una estructura por un tiempo determinado. [59]

Sus especificaciones de diseño son:

- **Diámetro de las Ruedas (x2):** 6.5 cm
- **Módulo Fotovoltaico (x1):**

Tabla 1. Especificaciones Módulo FV.

Módulo FV	
Especificaciones Eléctricas	
Potencia Máxima	50W
Eficiencia	11,56%
Tolerancia de Potencia	±3%
T° normal de funcionamiento	44,4±2°C
Especificaciones Físicas	
Tipo de Celdas	Monocristalina (125*41,66 mm)
Número de Celdas	36 (4*9)
Peso	5,5 Kg (12,14 lbs)

- Motorreductores (x2):

Tabla 2. Especificaciones Motores.

Motorreductores	
Especificaciones Eléctricas	
Voltaje	12V
Stall Torque	18kg*cm
Stall Current	5A
Free running Current	300mA
Velocidad	80rpm

- Batería:

Tabla 3. Especificaciones de la Batería

Batería	
Especificaciones Eléctricas	
Voltaje	12V
Corriente N	7Ah

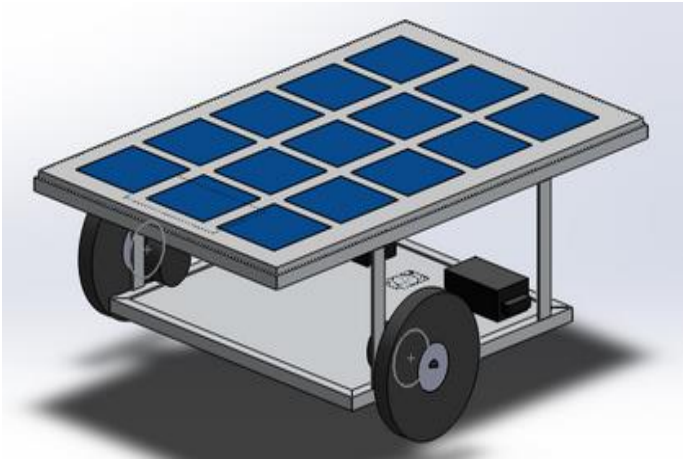
- Regulador del Sistema FV:

Tabla 4. Especificaciones Regulador

Regulador	
Especificaciones Eléctricas	
Voltaje	12/24V
Standby Current	< 30mA
Output Current	15A
Max Solar Array Voc	50V
Max Solar Array Current	15A
Max Load Current	15A
Efficiency	> 90%
Dimension	120*73*45 mm

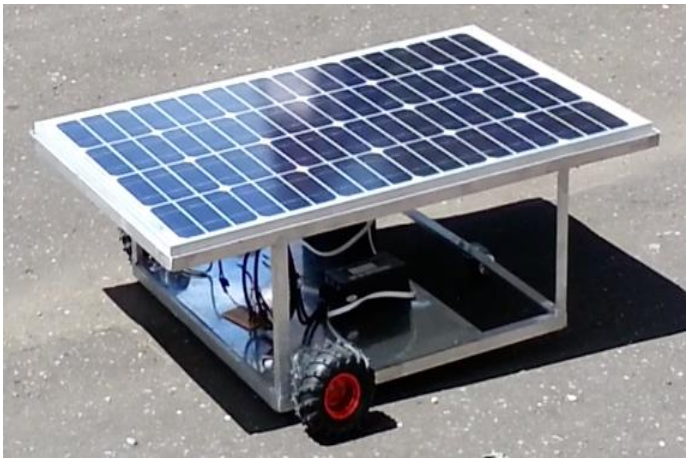
Por último muestran imágenes del diseño en CAD y el resultado final de construcción.

Figura 6. Diseño CAD del vehículo solar.



Fuente: Sistema de alimentación de energías renovables para desplazamiento de vehículo. [59]

Figura 7. Prototipo Funcional - Vehículo solar.



Fuente: Sistema de alimentación de energías renovables para desplazamiento de vehículo. [59]

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

Para conocer por completo el modelo de respuesta del panel, es necesario hacer una caracterización variando la radiación, esto nos permitirá hallar las curvas características del panel y los valores máximos de I y V que es capaz de entregar.

3.2.1 Selección Instrumento de Medición

Lo primero es determinar el instrumento de medición para la irradiación, así que es necesario recordar las definiciones y comparaciones que se realizaron en el Capítulo 2 (Pág. 14).

Lo ideal para realizar la medición sería seleccionar un Piranómetro, gracias a poseen una gran precisión; éstos son los que se utilizan en la mayoría de estaciones meteorológicas y megaproyectos con paneles solares, por esta misma razón son dispositivos bastante costosos y no muy fáciles de conseguir en el mercado, así que por la magnitud del proyecto es innecesaria una inversión tan grande en este dispositivo.

Los otros dos instrumentos son más comunes, cuentan con resoluciones y sensibilidades más que suficientes para aplicaciones académicas y económicamente es más factible acceder a ellos; sin embargo, para el desarrollo de este proyecto se manejan unidades de potencia (W), corriente (A) y voltaje (V), todas ellas variando de acuerdo al nivel de radiación por esto el instrumento ideal es el Radiómetro puesto que nos da la medición de la radiación en unidades de W/m^2, mientras que el Luxómetro mide la intensidad lumínica en lux (lx).

Se realizó una búsqueda exhaustiva en el mercado nacional y de las opciones que se tenían la más completa y económicamente al alcance, fue un Radiómetro Delta Ohm Modelo 2302.0 con las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 5. Especificaciones Radiómetro.

Radiómetro DELTA OHM MODELO 2302.0	
Dimensiones	140*88*38 mm
Peso	160g
T° de Trabajo	-5 a 50°C
T° de Almacenamiento	-25 a 65°C
Húmedad Relativa	0 - 90%

3.2.2 Obtención de las Curvas Características

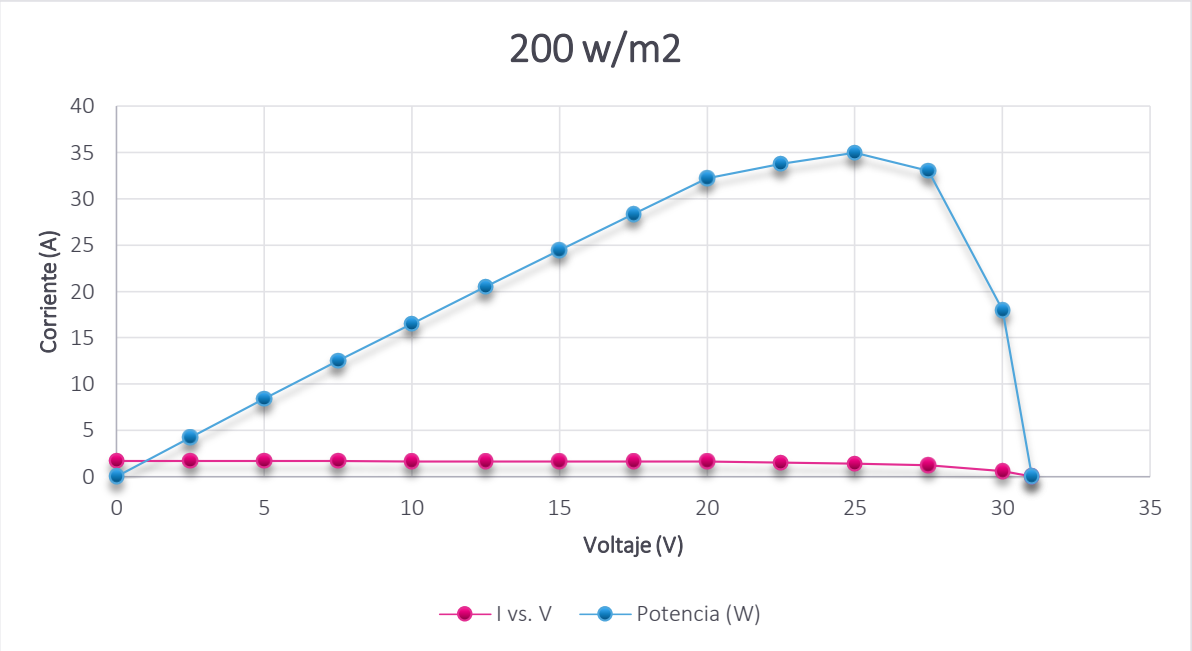
Teniendo el instrumento de medición definido, se procede a realizar el muestreo de Voltaje vs. Corriente a diferentes niveles de radiación.

3.2.2.1 Curvas del Módulo FV a 200 w/m^2

Tabla 6. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 200w/m^2.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
0	1,7	0
2,5	1,69	4,225
5	1,68	8,4
7,5	1,67	12,525
10	1,65	16,5
12,5	1,64	20,5
15	1,63	24,45
17,5	1,62	28,35
20	1,61	32,2
22,5	1,5	33,75
25	1,4	35
27,5	1,2	33
30	0,6	18
31	0	0

Figura 8. Curva Característica del Panel a 200 w/m^2.

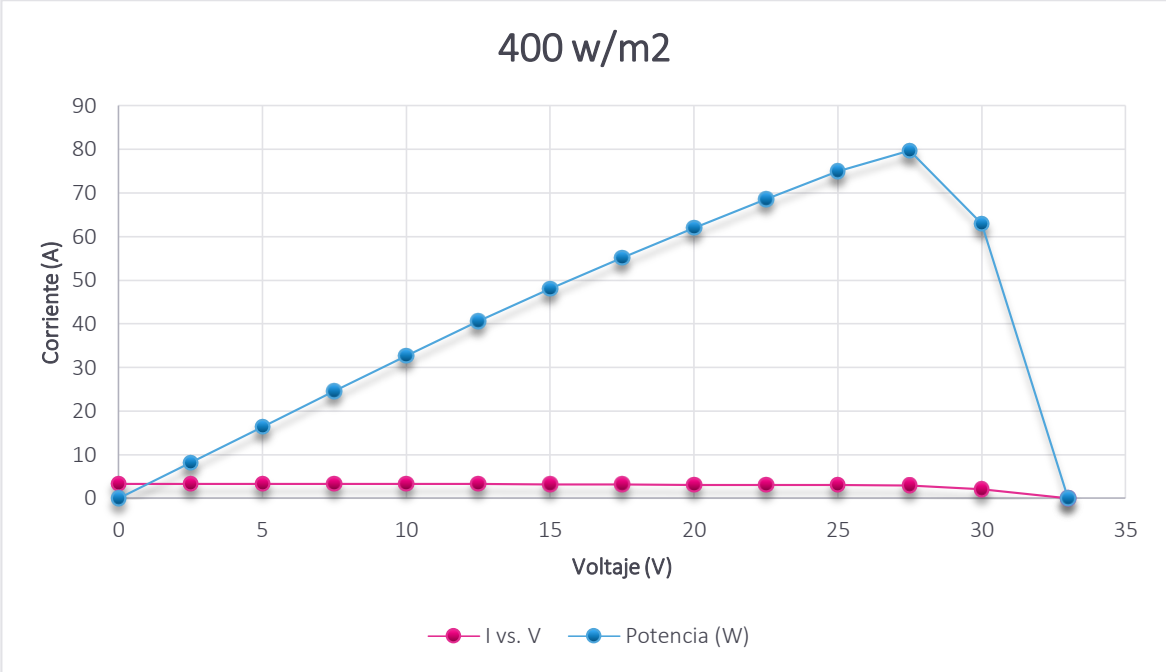


3.2.2.2 Curvas del Módulo FV a 400 w/m^2

Tabla 7. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 400w/m^2.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
0	3,3	0
2,5	3,29	8,225
5	3,28	16,4
7,5	3,27	24,525
10	3,26	32,6
12,5	3,25	40,625
15	3,2	48
17,5	3,15	55,125
20	3,1	62
22,5	3,05	68,625
25	3	75
27,5	2,9	79,75
30	2,1	63
33	0	0

Figura 9. Curva Característica del Panel a 400 w/m^2.

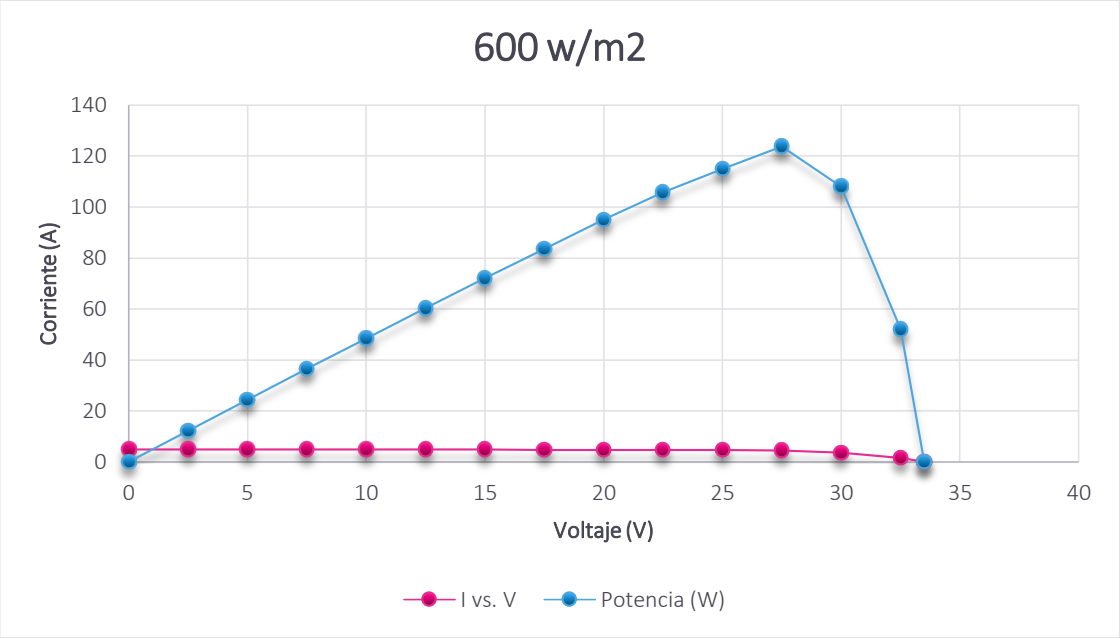


3.2.2.3 Curvas del Módulo FV a 600 w/m^2

Tabla 8. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 600w/m^2.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
0	4,9	0
2,5	4,9	12,25
5	4,88	24,4
7,5	4,86	36,45
10	4,84	48,4
12,5	4,82	60,25
15	4,8	72
17,5	4,77	83,475
20	4,75	95
22,5	4,7	105,75
25	4,6	115
27,5	4,5	123,75
30	3,6	108
32,5	1,6	52
33,5	0	0

Figura 10. Curva Característica del Panel a 600 w/m^2.

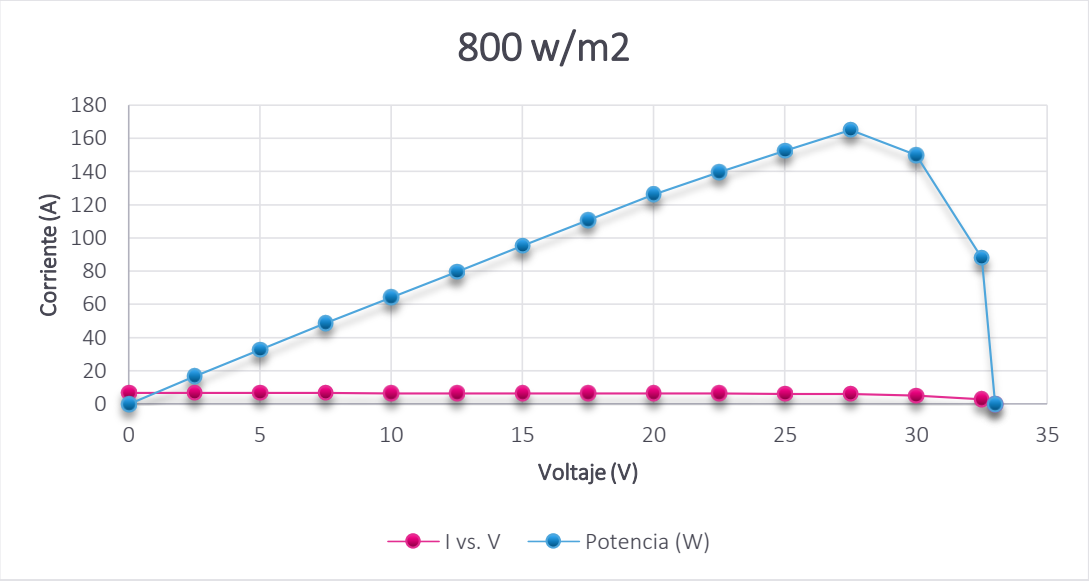


3.2.2.4 Curvas del Módulo FV a 800 w/m^2

Tabla 9. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 800w/m^2.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
0	6,6	0
2,5	6,57	16,425
5	6,53	32,65
7,5	6,5	48,75
10	6,4	64
12,5	6,37	79,625
15	6,35	95,25
17,5	6,32	110,6
20	6,3	126
22,5	6,2	139,5
25	6,1	152,5
27,5	6	165
30	5	150
32,5	2,7	87,75
33	0	0

Figura 11. Curva Característica del Panel a 800 w/m^2.

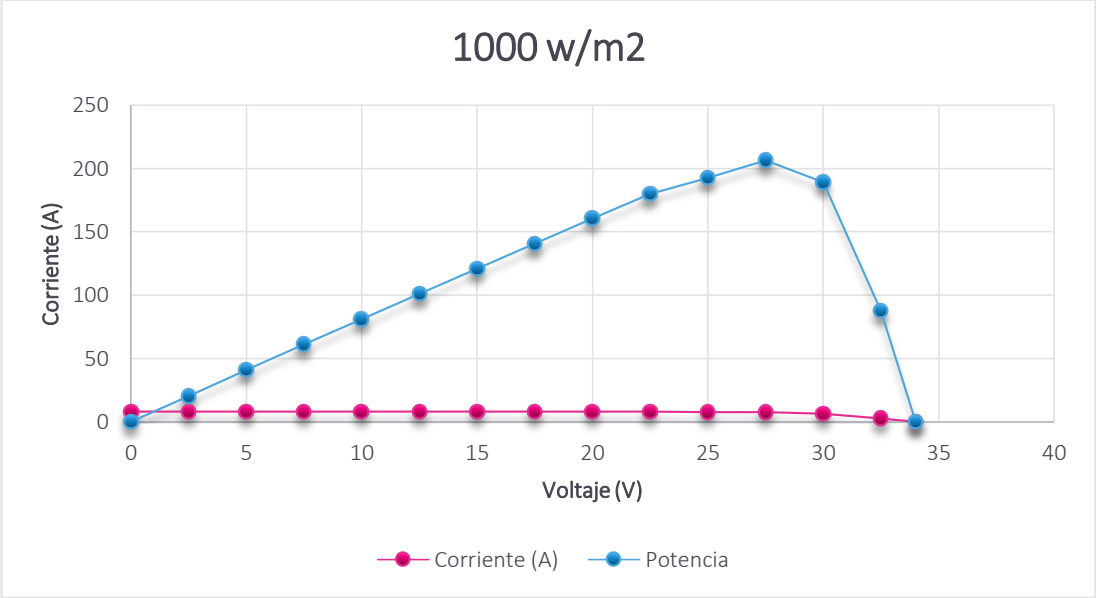


3.2.2.5 Curvas del Módulo FV a 1000 w/m^2

Tabla 10. Valores de V vs. I y Potencia, a una Radiación de 1000w/m^2.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
0	8,2	0
2,5	8,17	20,425
5	8,15	40,75
7,5	8,12	60,9
10	8,1	81
12,5	8,08	101
15	8,06	120,9
17,5	8,04	140,7
20	8,02	160,4
22,5	8	180
25	7,7	192,5
27,5	7,5	206,25
30	6,3	189
32,5	2,7	87,75
34	0	0

Figura 12. Curva Característica del Panel a 1000 w/m^2.



3.2.3 Cálculo Valores Complementarios del Módulo FV

De nuevo, retomando la explicación del Capítulo anterior, se conoce que al tener los valores de Corriente respecto a Voltaje, se pueden determinar la Isc y el Voc; adicionalmente al conocer la Pmáx para cada curva se pude determinar de igual manera el Vmp e Imp.

Tabla 11. Especificaciones Complementarias del Módulo

Especificaciones Complementarias del Módulo	
200 w/m2	
Voc (V)	31
Isc (A)	1,7
Pmáx (W)	35
Vmp (V)	25
Imp (A)	1,4

Tabla 11. Continuación

Especificaciones Complementarias del Módulo	
400 w/m2	
Voc (V)	33
Isc (A)	3,3
Pmáx (W)	79,75
Vmp (V)	27,5
Imp (A)	2,9
600 w/m2	
Voc (V)	33,5
Isc (A)	4,9
Pmáx (W)	123,75
Vmp (V)	27,5
Imp (A)	4,5
800 w/m2	
Voc (V)	33
Isc (A)	6,6
Pmáx (W)	165
Vmp (V)	27,5
Imp (A)	6
1000 w/m2	
Voc (V)	34
Isc (A)	8,2
Pmáx (W)	206,25
Vmp (V)	27,5
Imp (A)	7,5

3.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL PANEL RESPECTO A LA RADIACIÓN

Al querer manejar el algoritmo de control de acuerdo a la radiación que se presente en el momento, hace falta calcular la potencia que es capaz de generar el panel dependiendo directamente de la radiación.

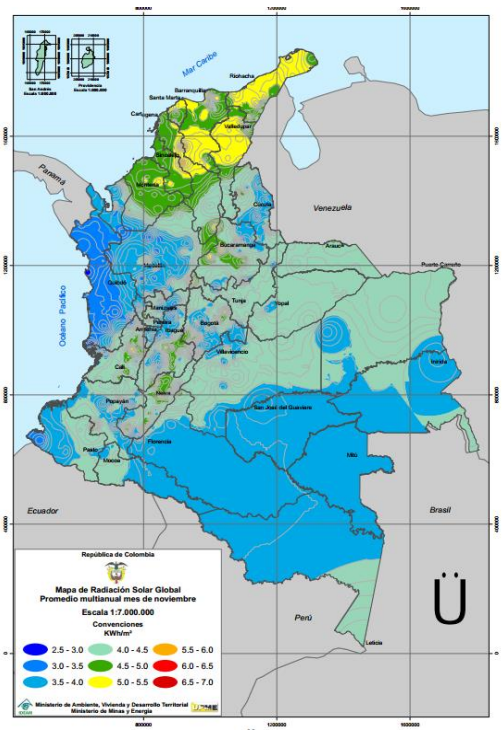
Para esto se retoma la ***Ecuación 4. Eficiencia de un PV,*** y se despeja la potencia.

$$\eta(\%) = \frac{P\ (W)}{G\ (W/m^2) * A(m^2)} \quad \rightarrow \quad P(W) = \eta * G * A$$

Para nuestro caso: $\eta = 11.56\%$, $A = 0.3456m^2$ y G será el valor de radiación sensado.

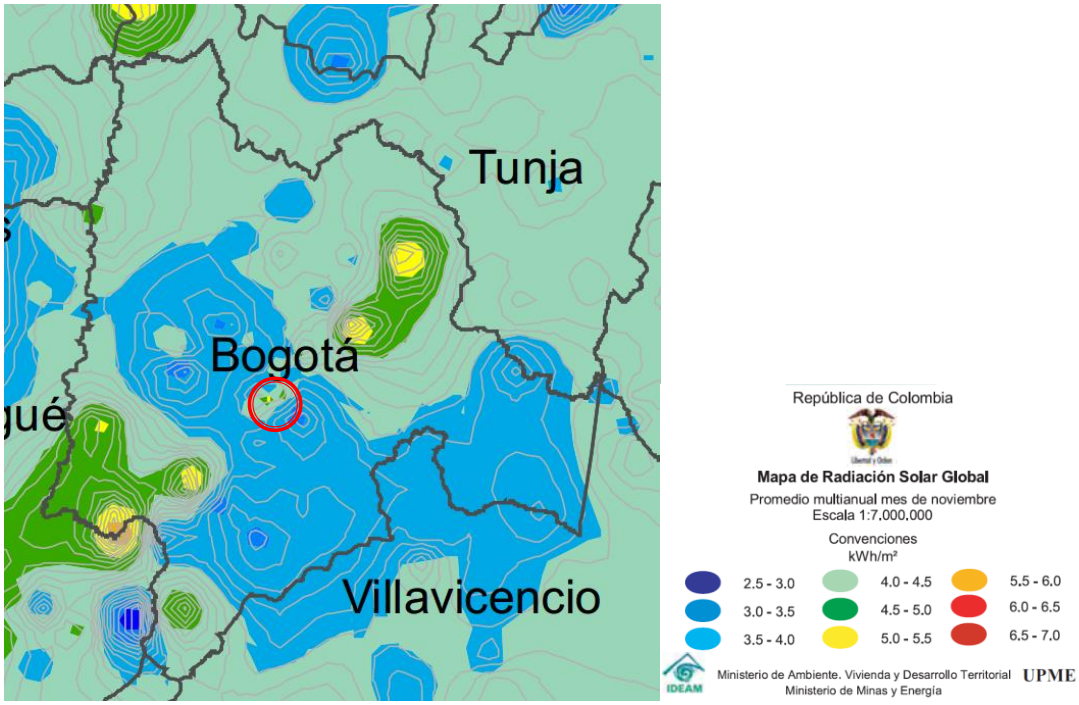
Como en este momento no se tiene el dato de radiación instantáneo, se recurrió al Atlas de Radiación en Colombia [60] y datos ya sensados por el IDEAM, para tener una aproximación de la radiación para esta época del año en Bogotá.

Figura 13. Radiación Solar (Noviembre) en Colombia.



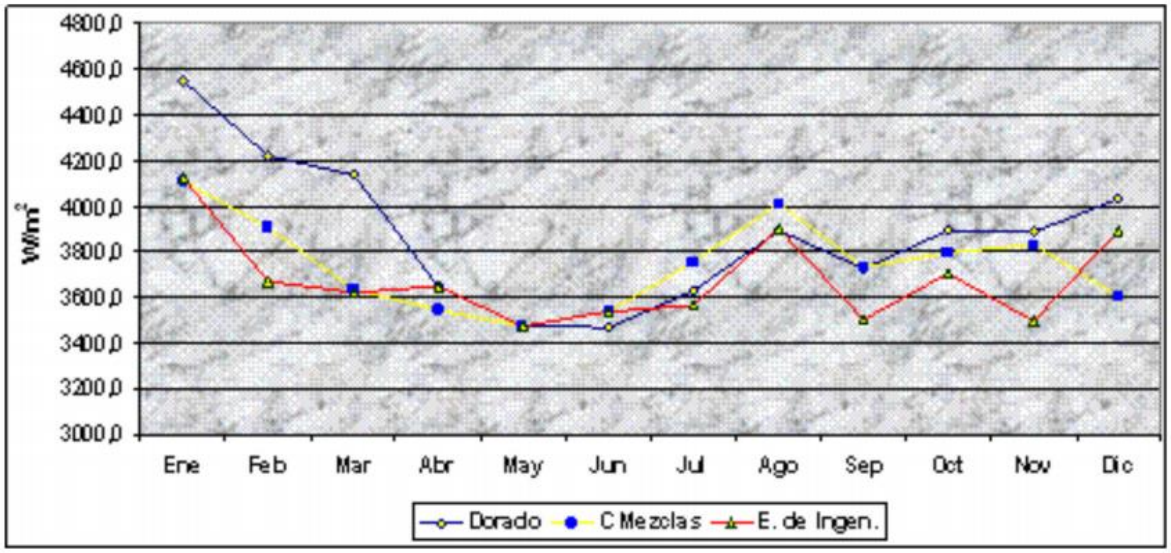
Fuente: https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/radi_11.pdf

Figura 14. Acercamiento Radiación Solar en Bogotá (Noviembre).



Fuente: https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/radi_11.pdf

Figura 15. Promedio mensual radiación global en Bogotá.



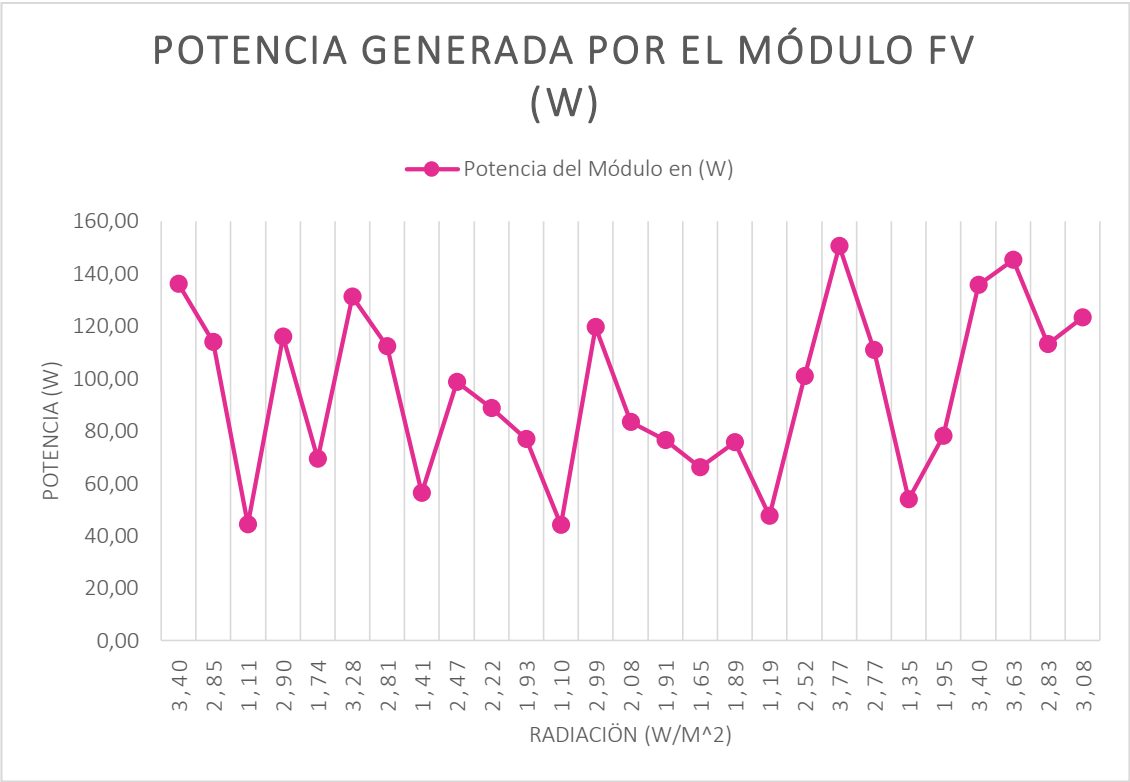
Fuente: http://jrubiano.pbworks.com/f/RADIACI%C3%93N+SOLAR-IDEAM.pdf

Como se puede observar en la Figura 14. Acercamiento Radiación Solar en Bogotá (Noviembre)., la radiación solar en Bogotá durante el mes de Noviembre varía en el rango de [3.0 - 3.5] kWh/m^2, y teniendo en cuenta que en un día soleado normal pueden llegar 1 kWh/m^2, se genera la gráfica de potencia del panel para este intervalo [1 - 3.5] kW/m^2, el cual se generará de forma aleatoria para asemejar la aparición de nubes o lluvias.

Tabla 12. Variación de la Potencia del Módulo FV en términos de la Radiación

Variación de la Potencia en términos de la Radiación		
Eficiencia (%)		Área del Módulo (m^2)
11,56%		0,3456
Rango: [3,0 - 3,5] kW/m	Potencia del Módulo en (kW)	Potencia del Módulo en (W)
3,40	0,14	136,03
2,85	0,11	113,84
1,11	0,04	44,28
2,90	0,12	115,90
1,74	0,07	69,42
3,28	0,13	131,23
2,81	0,11	112,22
1,41	0,06	56,42
2,47	0,10	98,58
2,22	0,09	88,67
1,93	0,08	76,97
1,10	0,04	44,07
2,99	0,12	119,63
2,08	0,08	83,29
1,91	0,08	76,41
1,65	0,07	66,05
1,89	0,08	75,68
1,19	0,05	47,61
2,52	0,10	100,86
3,77	0,15	150,52
2,77	0,11	110,86
1,35	0,05	53,92
1,95	0,08	78,06
3,40	0,14	135,74
3,63	0,15	145,19
3,08	0,12	123,24

Figura 16. Potencia Generada por el Módulo FV variando radiación



De esta manera se calcula teóricamente la potencia que nos está generando el panel en un instante de tiempo dependiendo de la radiación que está incidiendo en el Módulo FV. En la aplicación real los valores de radiación serán los que muestre el radiómetro.

3.4 CARGA DE LOS MOTORES

Antes de iniciar el cálculo sobre la batería, se debe conocer la corriente que consumen los motores instalados en el vehículo pues dependiendo de este valor el tiempo de descarga en la batería se va a ver afectado directamente. A mayor consumo o carga menor es el tiempo de descarga, es decir, se tendrá un tiempo de carga útil inferior.

Para conocer la carga de los motores es necesario realizar una conversión de unidades en las especificaciones eléctricas de los mismos y con esto determinar la Potencia Eléctrica de los motores.

3.4.1 Torque

- El torque del motor es igual a $18\ kgf.cm$
- $1\ kgf = 0.0980665\ N.m$
- Por lo tanto $18\ kgf.cm$ equivalen a $\mathbf{1.765197\ N.m}$

3.4.2 Velocidad Angular

- La velocidad angular del motor es igual a $80\ rpm$
- $1\ rpm = 0.10471976 \frac{rad}{seg}$
- Por lo tanto $80\ rpm$ equivalen a $\mathbf{8.37758 \frac{rad}{seg}}$

3.4.3 Potencia Mecánica

Se utiliza la definición mecánica de potencia:

$$Pm = \mathcal{T} * w$$

Ecuación 8. Potencia Mecánica Motor

En donde ***P*** es la potencia mecánica del motor, ***T*** es el torque y ***w*** es la velocidad angular.

Reemplazamos los datos obtenidos anteriormente, se calcula la potencia mecánica que poseen los motores preestablecidos.

$$Pm\ (W) = 1.765197\ N.m * 8.37758 \frac{rad}{seg}$$

$$Pm\ (W) = \mathbf{14.7880\ W}$$

3.4.4 Potencia Eléctrica

Finalmente, el último dato que hace falta obtener es el de la potencia eléctrica del motor, para lo que se calculará despejándola de la siguiente ecuación:

$$Eficiencia(\eta) = \frac{Potencia\ Útil}{Potencia\ Total} = \frac{Potencia\ Mecánica}{Potencia\ Eléctrica}$$

Ecuación 9. Eficiencia Motor Eléctrico.

Para el desarrollo teórico, se tomará una Eficiencia del 70%; ya en la simulación del algoritmo el usuario podrá ingresar la eficiencia de acuerdo al tipo de motores que estén instalados en su vehículo.

Reemplazando y despejando la potencia eléctrica, se obtiene que:

$$Pot.Eléctrica\ (W) = \frac{Pot.Mecánica}{\eta} = \frac{14.7880\ W}{0.70} = \mathbf{21.1257\ W}$$

A partir de la Potencia Eléctrica del motor se calcula la carga que consumen los motores, despejándola de la definición electrónica de potencia.

$$Potencia\ (W) = Voltaje\ (V) * Corriente\ (A)$$

Ecuación 10. Potencia Electrónica

$$Im(A) = \frac{Pot.Eléctrica(W)}{Voltaje(V)} = \frac{21.1257W}{12V} = \mathbf{1.760\ A}$$

Así que la corriente consumida por cada motor es de 1.760 A, pero como para el desarrollo del trabajo se cuenta con dos motorreductores esta carga se duplica, siendo realmente ***3.5212 A.***

3.5 CARACTERIZACIÓN DE LA BATERÍA

Como se mencionó anteriormente, para lograr el objetivo de este trabajo, se requiere tener un control directo sobre la batería que almacena la energía generada a partir del panel; por lo que es necesario calcular sus tiempos de carga y descarga y como éstos varían de acuerdo a los cambios de radiación incidente en el módulo FV.

3.5.1 Nivel de Carga en la Batería

Para poder realizar la caracterización se tendrá como primer punto de partida la tabla de relación entre el voltaje y el porcentaje de carga para baterías líquidas y solidas tanto de 12V como de 24V, dada por los fabricantes. [53]

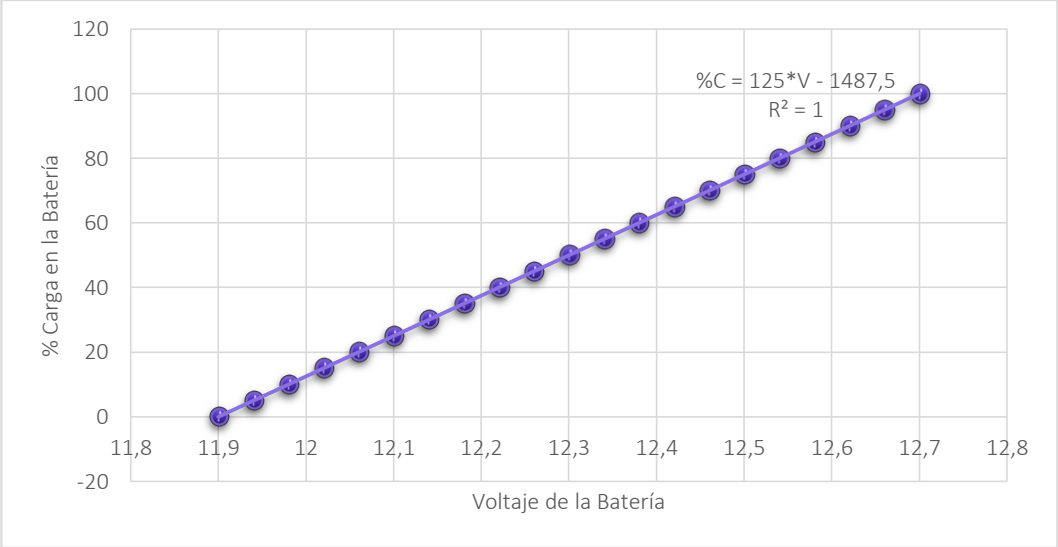
Tabla 13. Medición del nivel de carga mediante la tensión en bornes de la batería

ESTADO DE CARGA	LIQUID	GEL	LIQUID	GEL
STATE OF CHARGE	12 V	12 V	24 V	24 V
<20%	< 11.9	< 12.1	< 23.8	< 24.2
25%	12.1	12.3	24.3	24.5
50%	12.3	12.5	24.6	25
75%	12.5	12.8	25	25.5
100%	12.7	13	25.4	26

Fuente: Ferve-Technical Support

Con esa información ser realizó una regresión (tomando el sistema linealmente) para poder conocer el Nivel de Carga en la batería ante cualquier voltaje sensado y evitar limitarse a los valores de la tabla.

Figura 17. Gráfica del % Carga vs. Voltaje en la Batería.



Luego de realizar la regresión se obtiene la ecuación de la gráfica, que para este caso es:

$$\%CargaBat = 125 * (Vbat) - 1478.5$$

Ecuación 11. Porcentaje de Carga de una Batería.

Esto quiere decir que si hipotéticamente el sensor de la batería nos muestra que hay disponibles **12.22V,** la carga útil de la batería es del **40%.**

3.5.2 Tiempo de Descarga en la Batería

Para conocer el tiempo de descarga de cualquier batería no hay una ecuación específica, ya que éste se ve afectado por muchos factores como lo son el material de fabricación, la norma con la que se fabricó, la carga nominal para la cual fue diseñada y obviamente el consumo del sistema que esté alimentando.

Lo más práctico sería caracterizar en la realidad una batería y medir sus tiempos, pero en este caso para el desarrollo del algoritmo y la ejecución de la simulación es necesario el poder determinar ese tiempo teóricamente.

Así que lo primero para revisar es la información que proporciona el fabricante, que por lo general son las gráficas de descarga de acuerdo a la carga consumida. Para este caso se reemplazará la batería que tenía el vehículo por una batería NP7-12 YUASA [61], que posee las mismas características pero de una marca más robusta, con mayor garantía y más comercial; el fabricante de baterías YUASA brinda la siguiente información:

Tabla 14. Especificaciones Técnicas Batería NP7-12

	Nominal Voltage	Nominal Capacity (Ah)		Dimensions					
Model	(V)	(20Hr.)	(10Hr.)	L(mm)	W(mm)	Height over Terminals (mm)	Weight Approx (Kg)	Layout	Terminals
NP7-12	12	7.0	6.48	151	65	97.5	2.65	4	A&C

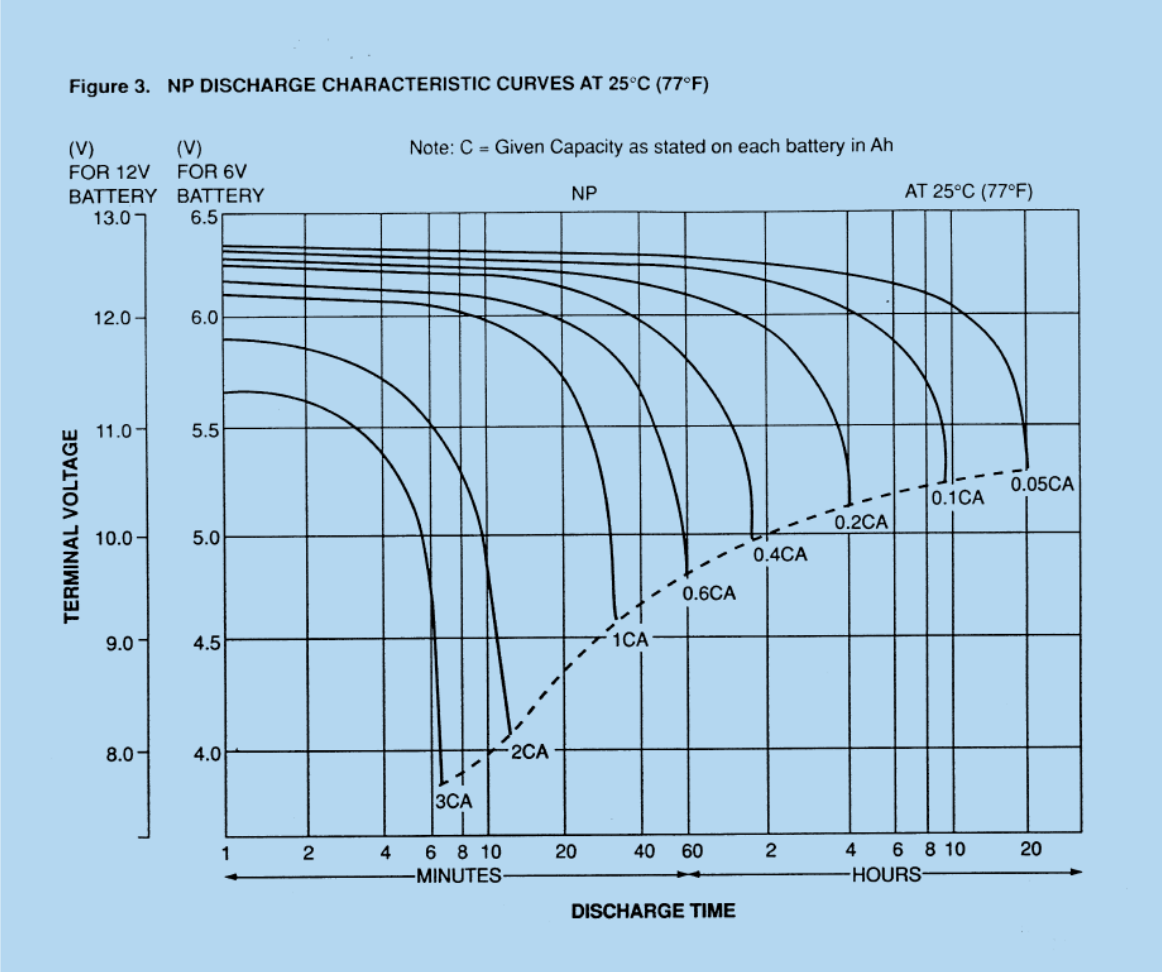
Fuente: www.yuasa-battery.co.uk

Tabla 15. Corriente de descarga a diferentes tasas de descarga.

20 Hr. Capacity	Discharge Current							
	0.05C	0.1C	0.2C	0.4C	0.6C	1C	2C	3C
0.8 Ah	0.04 A	0.08 A	0.16A	0.32A	0.48 A	0.8A	1.6A	2.4 A
7.0	0.35	0.70	1.40	2.80	4.20	7.0	14.0	21.0

Fuente: www.yuasa-battery.co.uk

Figura 18. Curvas de Descarga para Baterías NP.



Fuente: www.yuasa-battery.co.uk

Estas gráficas de descarga sirven de guía para cualquier batería NP-YUASA; lo único que se hace es elegir el eje Y de acuerdo al Voltaje Nominal de la batería y luego reemplazar la C por la Carga Nominal que presente de igual manera la batería; ese valor resultante es la cantidad de carga que se está consumiendo y en el eje X (logarítmico) relacionamos el tiempo que tardará en descargarse.

Por ejemplo, se quiere saber cuánta carga se debe conectar a la batería NP7-12 para que se descargue en un tiempo aproximado de 1h (60 min). Se va a la gráfica, se ubica en el eje X o del tiempo lo 60 min y se ve que corresponde a la carga 0.6C A, esa "C" se reemplaza por la carga nominal de la batería que es 7 Ah; el valor resultante, que

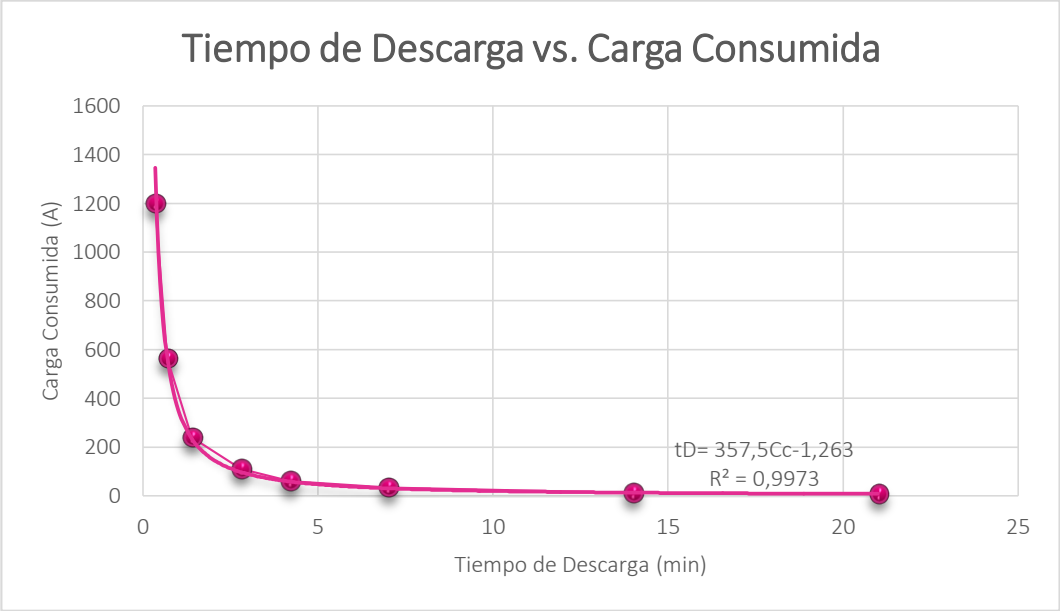
fue para el ejemplo **4.2 A,** es la carga necesaria para que se descargue la batería en el tiempo deseado.

Lo siguiente que se realizó fue recopilar en una tabla la información de los tiempos obtenidos desde la figura anterior, y relacionarlos directamente a la carga; graficar los datos y de ésta manera hallar la ecuación de la gráfica de descarga total para una batería de 7Ah – 12V.

Tabla 16. Tiempo de descarga vs. Carga Consumida

Batería NP7-12 YUASA	
Carga Consumida (A)	Tiempo (min)
0,35	1200
0,7	564
1,4	240
2,8	110
4,2	60
7	33
14	13
21	6,5

Figura 19. Relación del Tiempo de descarga vs. Carga Consumida



Teniendo la gráfica de Tiempo de Descarga, realizamos de nuevo una regresión y obtenemos la ecuación del tiempo de descarga en términos de la carga consumida; logrando con esto poder saber en cuánto tiempo se va a descargar la batería ante cualquier consumo de corriente y no solo para las tasas de descarga estipuladas por el fabricante.

La ecuación del Tiempo de descarga para una batería NP7-12 es:

$$Tiempo\ de\ Descarga\ (\text{mín}) = 357{,}5 * (Carga\ Consumida)^{-1.263}$$

Ecuación 12. Tiempo de Descarga de una Batería

Esto quiere decir que si los motores que alimenta la batería tienen una Corriente de Consumo igual a **3.5208 A,** la batería se descargará totalmente (0%) al transcurrir aproximadamente **73 min** que equivaldrían a **1h 22 min.**

3.5.3 Tiempo de Carga de la Batería

El tiempo de carga de una batería, a diferencia del de descarga, si posee una ecuación que aparentemente es bastante simple; se referencia en el Capítulo 2 (Pág. 20) y es la Ecuación 7

$$tiempo\ de\ Carga\ (h) = \frac{Q\ (Ah)}{Ic\ (A)}$$

Donde **Q** es la capacidad en amperios-hora (Ah) de la batería e **Ic** es la corriente del cargador que se desea conectar a la batería.

Aplicado al caso particular del proyecto, **Q** es la capacidad en amperios-hora (Ah) de la batería e **Ic** es la corriente con la que el Módulo FV alimenta a la batería o cuando el algoritmo decida la corriente del cargador.

3.6 DISEÑO CIRCUITO ALTERNATIVO

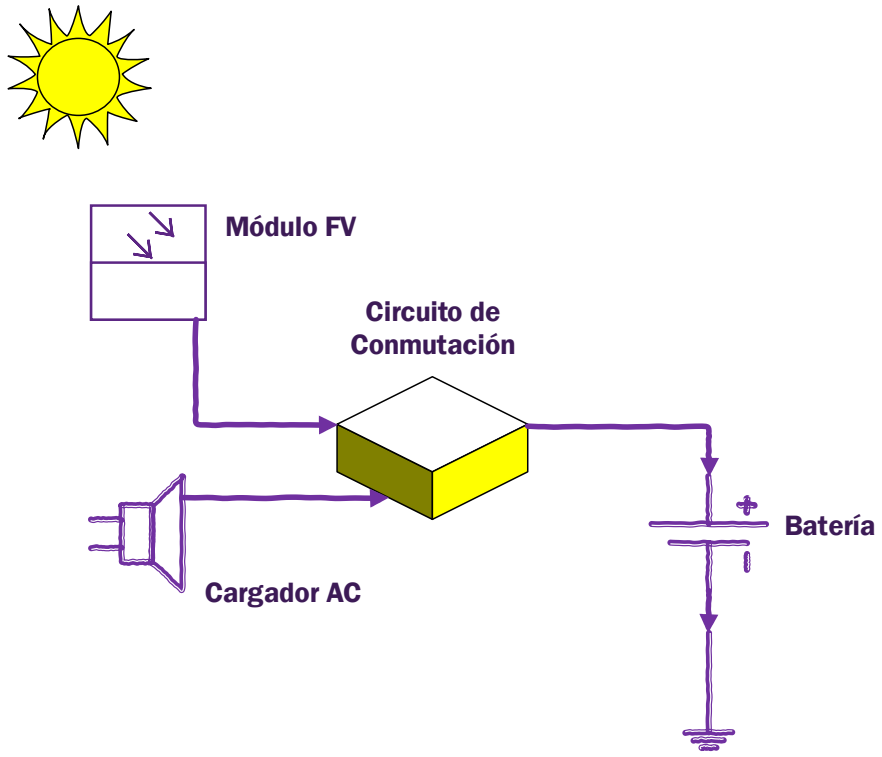
Se sabe que una de las desventajas de utilizar sistemas FV es que la energía solar es muy difusa, y para el caso de Bogotá esa energía no está disponible más de 6 horas; así que supóngase que se necesita utilizar el vehículo en horas de la tarde (pasada la hora de radiación máxima) y ya no hay una radiación suficiente para que el módulo

FV genere la potencia mínima para cargar la batería, lo que le queda al usuario por hacer es esperar al día siguiente a que haga un buen día soleado y se cargue nuevamente la batería de su vehículo.

Con la idea de evitar que ocurra esto y aprovechando la autonomía del algoritmo, en este trabajo se propone implementar al circuito original de carga con el sistema FV, un sistema de carga convencional DC, el cual se activará cuando la potencia del panel deje de cargar la batería para suplir la tarea del módulo FV, permitiendo cargar la batería aun cuando no haya radiación solar.

El diagrama básico de la unión de los dos sistemas es el siguiente:

Figura 20. Diagrama en bloques del Sistema Propuesto



Para lograrlo se propone un circuito de conmutación o Fuente Switcheada, el cual activará el circuito de carga DC y desactivará la alimentación a partir del sistema FV, cuando el voltaje generado por el panel sea inferior a un voltaje de referencia.

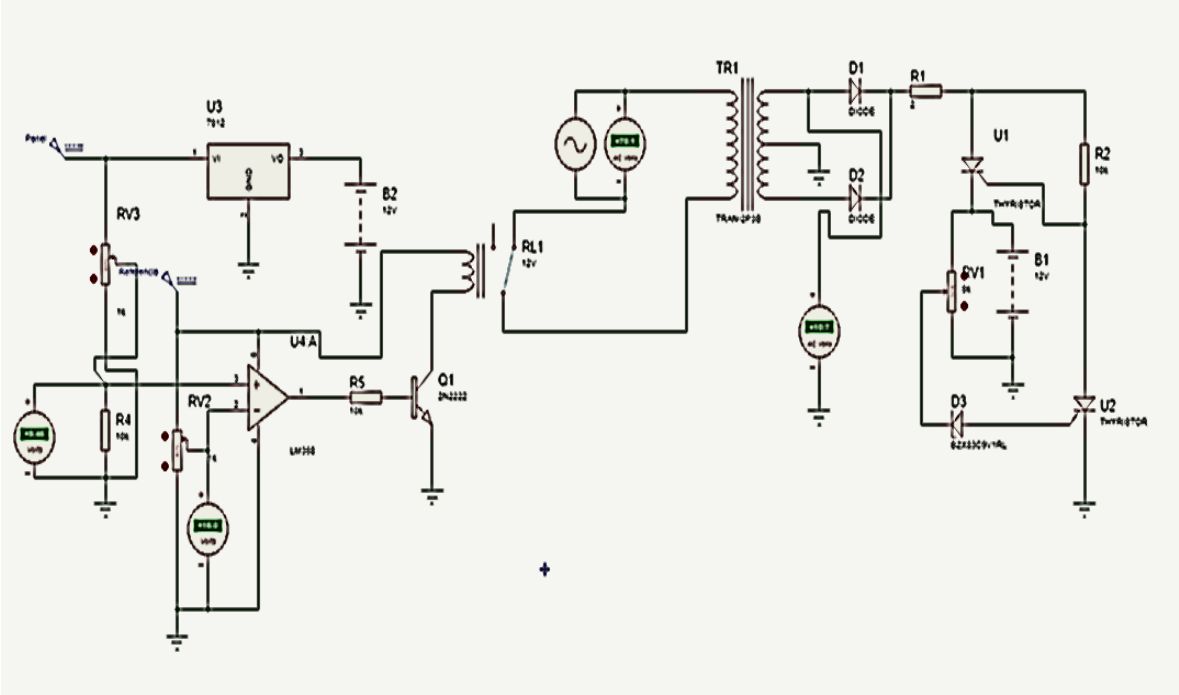
Las características eléctricas del sistema alternativo de carga son:

- **Voltaje:** 19V
- **Corriente:** 3.16A
- **Potencia:** 60W

Para este caso, la idea es que el cargador entre a funcionar cuando la radiación sea inferior a 1.5 kW/m^2, es decir cuando la potencia sea menor a 60W (que es la potencia que en todo momento ofrece el cargador).

El circuito de conmutación propuesto es el siguiente:

Figura 21. Circuito de Conmutación Propuesto



En el medio está dividido por un relé, que es el encargado de efectuar la conmutación; la primera parte es el circuito del sistema FV y la segunda parte el circuito que simula el funcionamiento interno de un cargador.

Figura 22. Circuito del Sistema FV

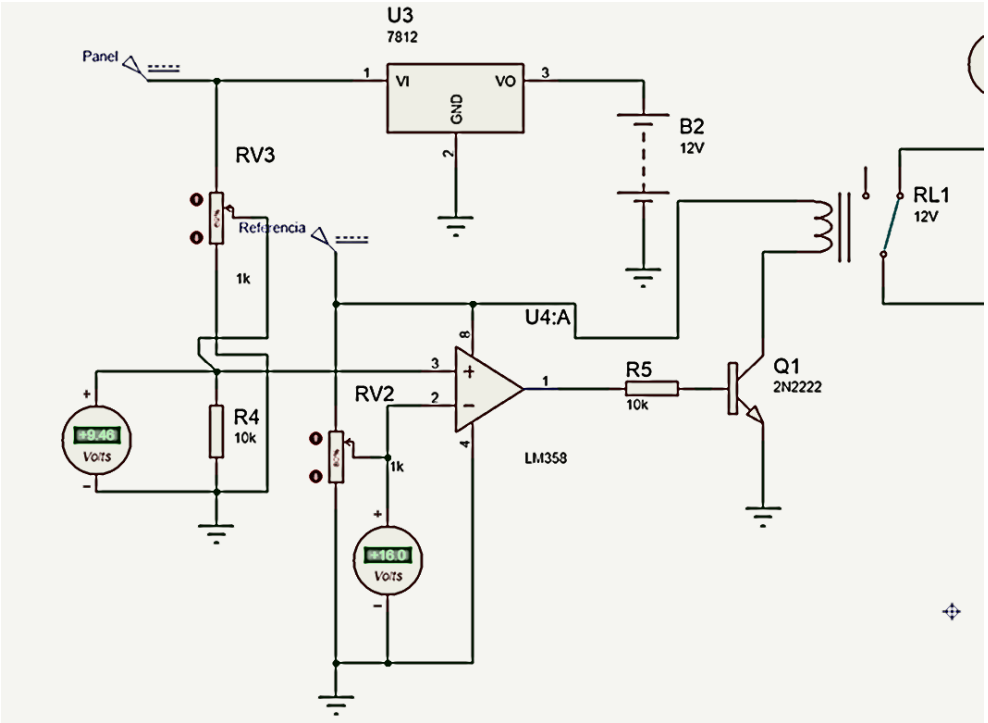
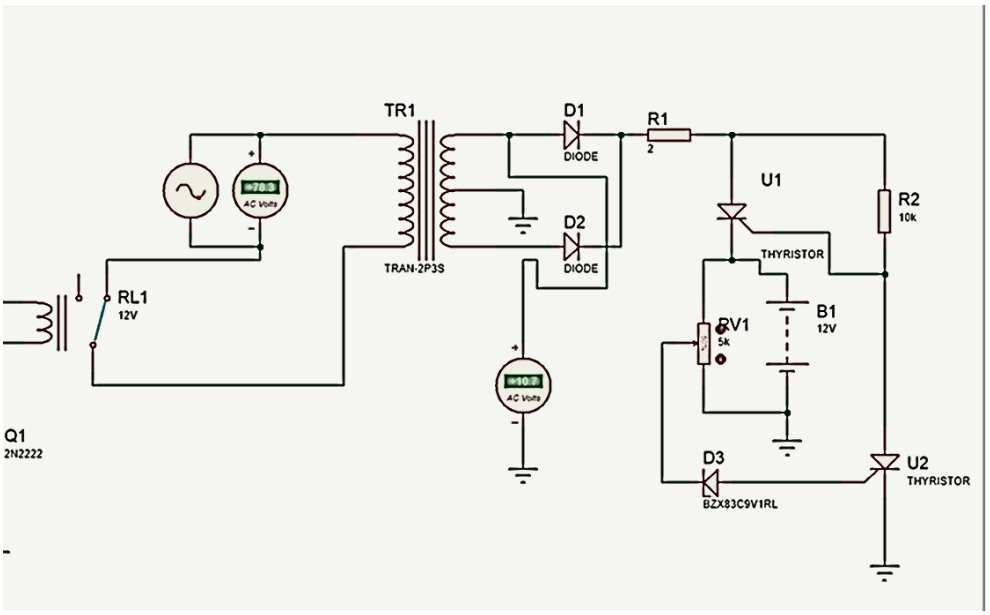


Figura 23. Circuito de Carga Convencional DC



En el diagrama se ven dos baterías (B1 y B2) que se colocaron simplemente para diferenciar los voltajes de carga, pero en el circuito real las dos representan la misma batería. El potenciómetro que se observa en la Figura 22, con el nombre de Referencia, es el que nos modifica el voltaje al cual el panel dejará de alimentar para darle paso al cargador.

3.7 DURACION DEL RECORRIDO

Calcular la duración del recorrido es importante ya que va a ser el punto de referencia para realizar la comparación con el tiempo de carga disponible en la batería y así poder notificarle al usuario si con el nivel de carga que posee puede llegar a su destino.

Para calcular este tiempo se tienen en cuenta dos variables:

- La distancia que el usuario desea recorrer,
- Y la velocidad a la que irá el vehículo, la cual para esta aplicación se mantendrá constante.

Se hará uso de la ecuación de velocidad para despejar el tiempo en términos de las dos variables mencionadas anteriormente.

$$TiempodelRecorrido(seg) = \frac{Distancia\ por\ recorrer\ (m)}{Velocidad\ del\ vehículo\ (\frac{m}{s})}$$

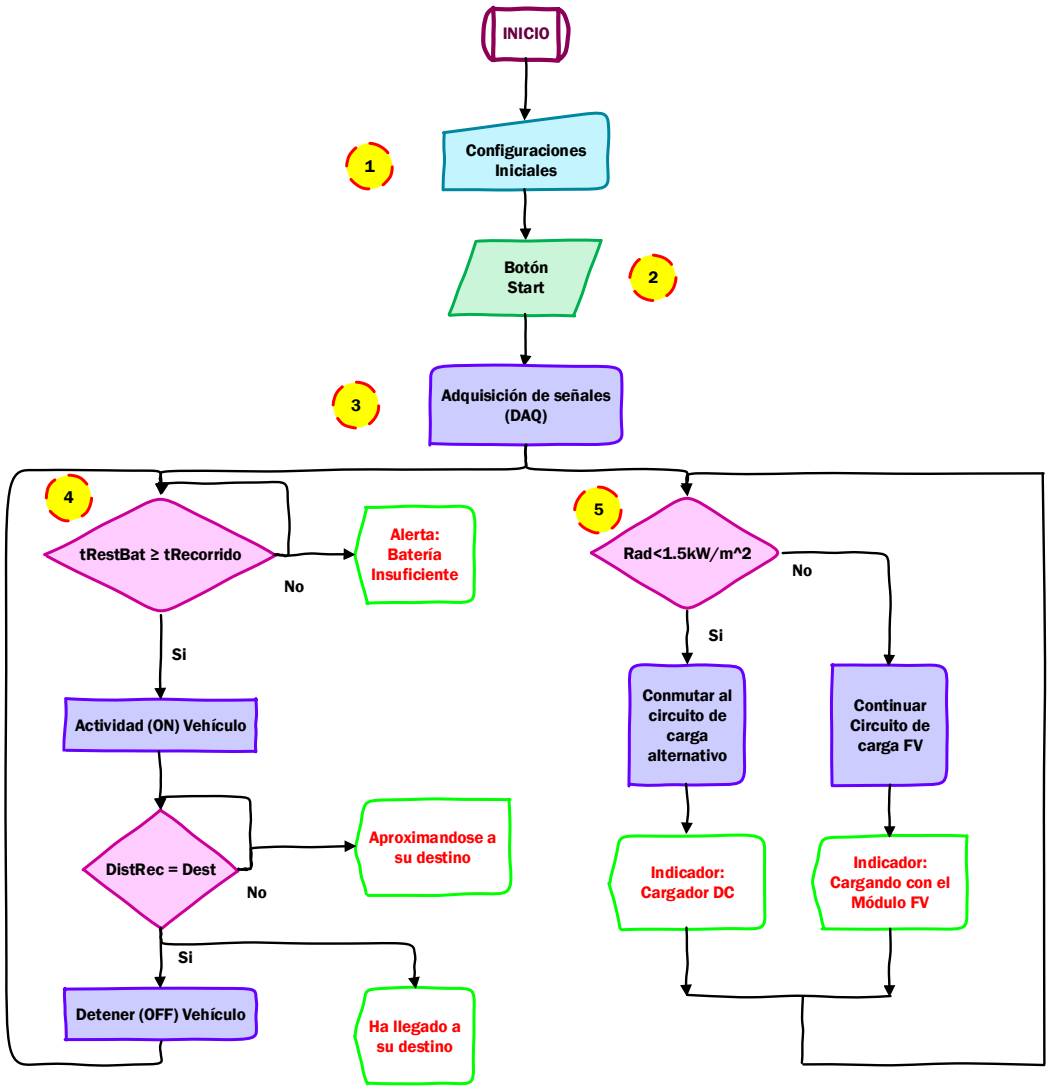
Ecuación 13. Tiempo del Recorrido

3.8 ALGORITMO DE CONTROL

El algoritmo de control es el que le permite al usuario conocer el estado de carga de su vehículo, si el recorrido que desea hacer hay suficiente energía y regular la energía del cargador complementario de acuerdo a la radiación.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo propuesto. Sobre éste diagrama se realizará la explicación del funcionamiento del algoritmo.

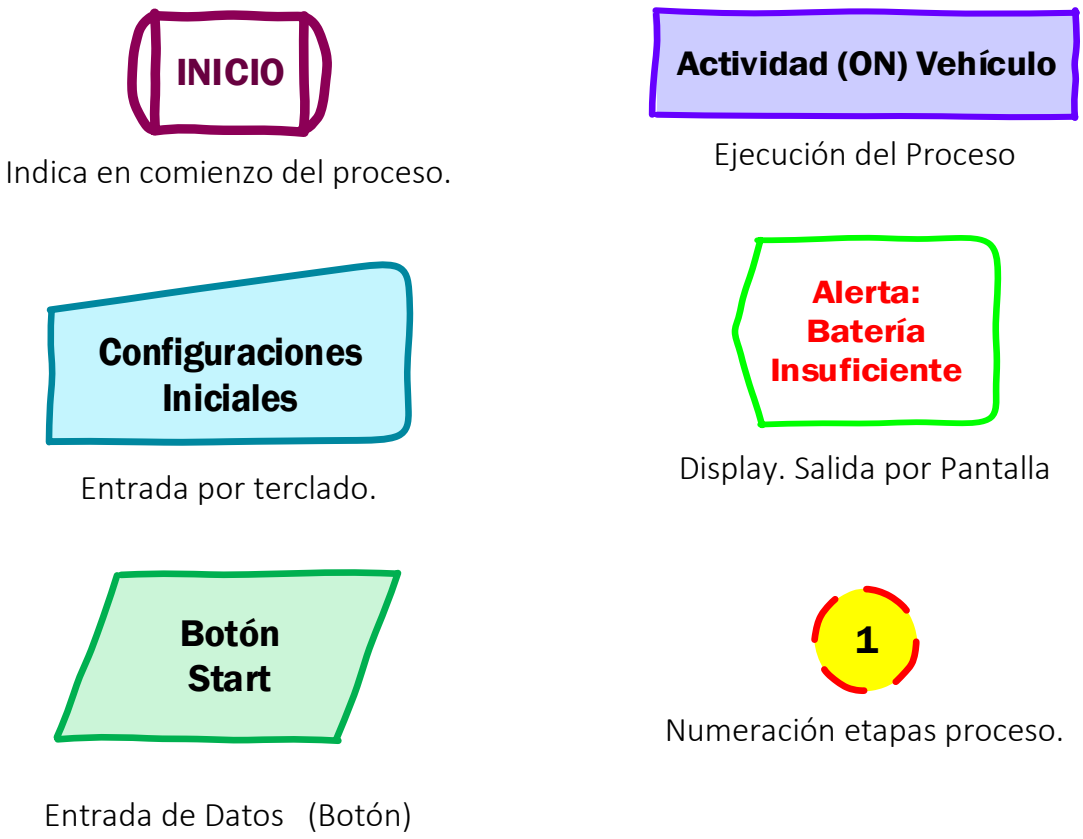
Figura 24. Diagrama de Flujo Algoritmo Control



El algoritmo se diseñó para que funcione con las especificaciones de cualquier vehículo solar, por lo tanto es indispensable que el usuario ingrese los datos requeridos por el programa para poder realizar los respectivos cálculos. Adicionalmente cabe resaltar que los cálculos son ideales y por tal razón se mantiene la velocidad del vehículo constante durante todo el trayecto, despreciando variaciones en la carga y fuerzas de rozamiento.

Se recurrió a la programación gráfica para el desarrollo del algoritmo, mediante el uso del Software de ©National Instruments – LabVIEW™.

Como se ve en la Figura 24, el algoritmo se dividió en etapas numeradas para lograr una mejor explicación; así que antes de empezar con el desarrollo del algoritmo se aclararan los componentes del diagrama de flujo.



3.8.1 Configuraciones Iniciales

Es la primera etapa del algoritmo, en donde el usuario define todas las especificaciones de su vehículo y sistema FV. Con estos datos se realizan los cálculos desarrollados en el Capítulo 3 (pág. 22 en adelante).

Las características que debe ingresar el usuario son (en orden de aparición en la interfaz):

- Área del Módulo FV en $m2$.
- Eficiencia del Módulo FV en $\%$.
- Período de muestreo para el Radiómetro en $segundos$.
- Voltaje del Motor en V.
- Radio de las Ruedas del Vehículo en cm.
- Eficiencia del Motor en %.
- Torque del Motor en $kgf.cm$.
- Velocidad Angular del Motor en rpm.
- Voltaje del Cargador DC complementario en V.
- Corriente del Cargador DC complementario en A.
- Carga nominal de la Batería en Ah.
- Distancia que se desea recorrer en cm.

Se ingresan por teclado y se almacenan en variables.

Figura 25. Bloques utilizados en LabVIEW para ingresar configuraciones iniciales

3.8.2 Botón Start

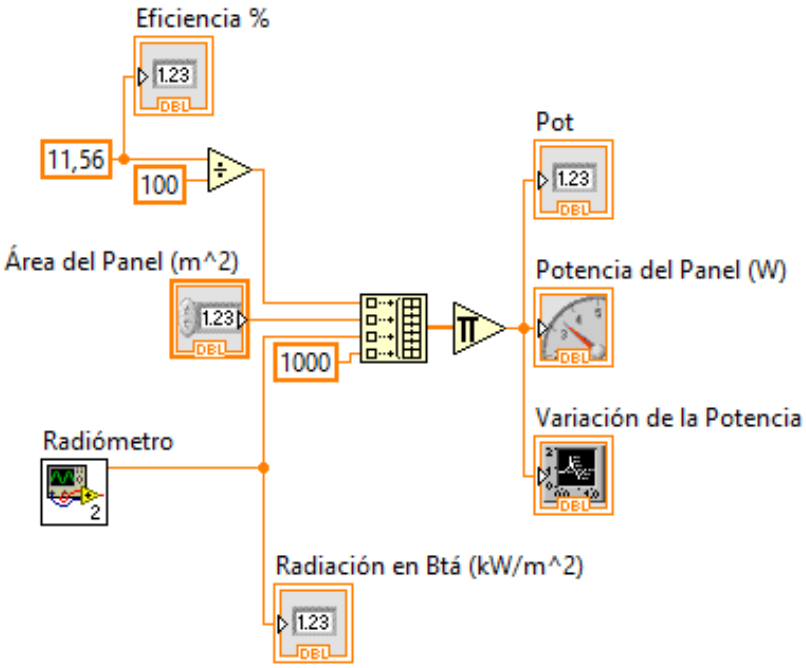
A pesar de que el programa ya se encuentra corriendo, el algoritmo no se inicializa hasta que el usuario toma la determinación de encenderlo. Asemeja a la llave para encender el vehículo.

3.8.3 Adquisición de señales (DAQ)

En esta etapa el algoritmo realiza todo el proceso de sensar señales, las almacena y las actualiza de acuerdo al tiempo de muestreo estipulado para cada adquisición.

Las señales que se adquieren el nivel de Radiación en W/m^2 y el voltaje en los terminales de la Batería.

Figura 26. Adquisición Nivel de Radiación y Cálculo de la Potencia



Como se observa en la Figura 26, la adquisición del nivel de radiación se realiza mediante el Radiómetro y posteriormente con el valor sensado se calcula la Potencia generada por el Módulo FV, mediante la implementación del despeje realizado partiendo de la Ecuación 4.

Luego, con el valor del voltaje en la batería se determinan todos los datos necesarios sobre ella como lo son el Porcentaje de Carga que tiene (Ecuación 11), el tiempo de carga útil o dicho de otra manera el tiempo que tardará en descargase (Ecuación 12) e igualmente el tiempo que se requiere para que este cargada de nuevo al 100% (Ecuación 7), tal y como se muestra en la Figura 27 y en la Figura 28.

Figura 27. Adquisición del Voltaje en la Batería

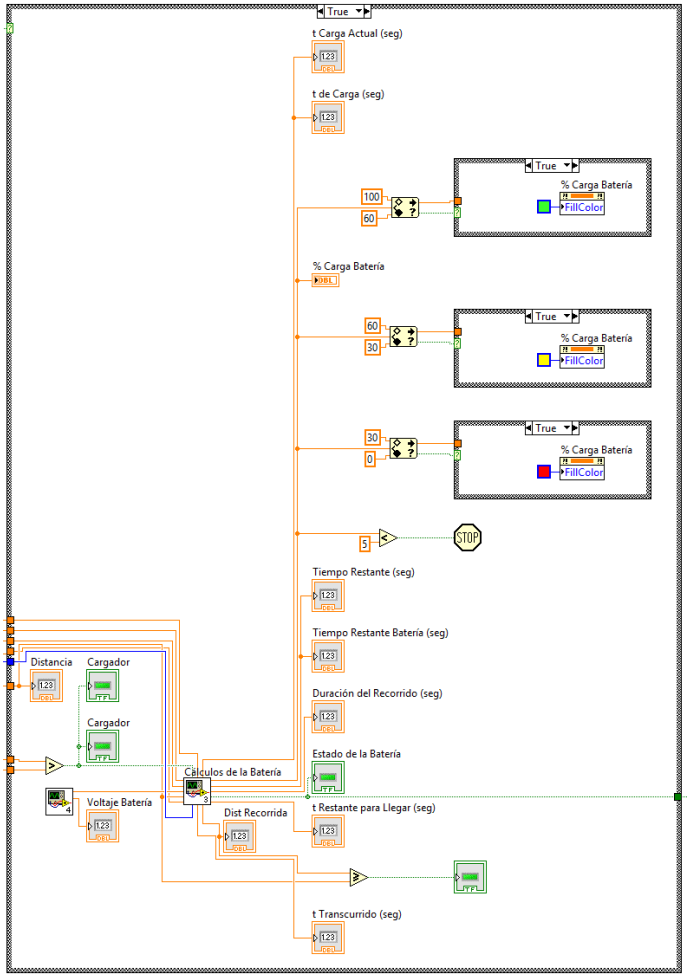
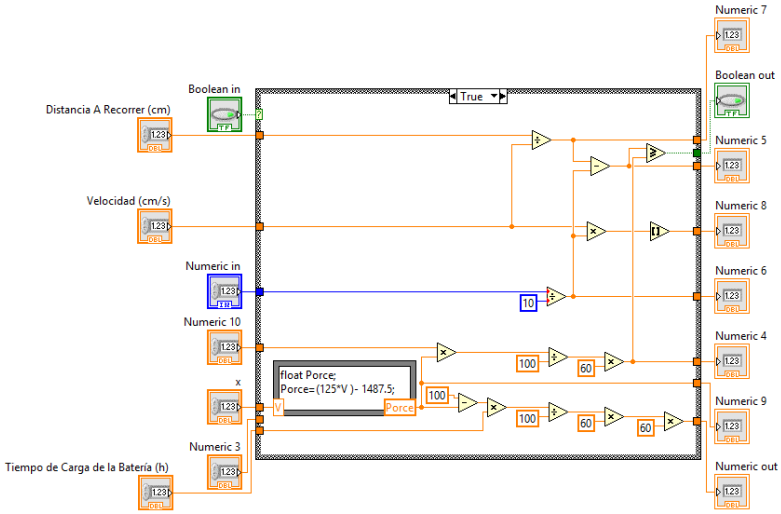


Figura 28. SubVI - Cálculos de la Batería



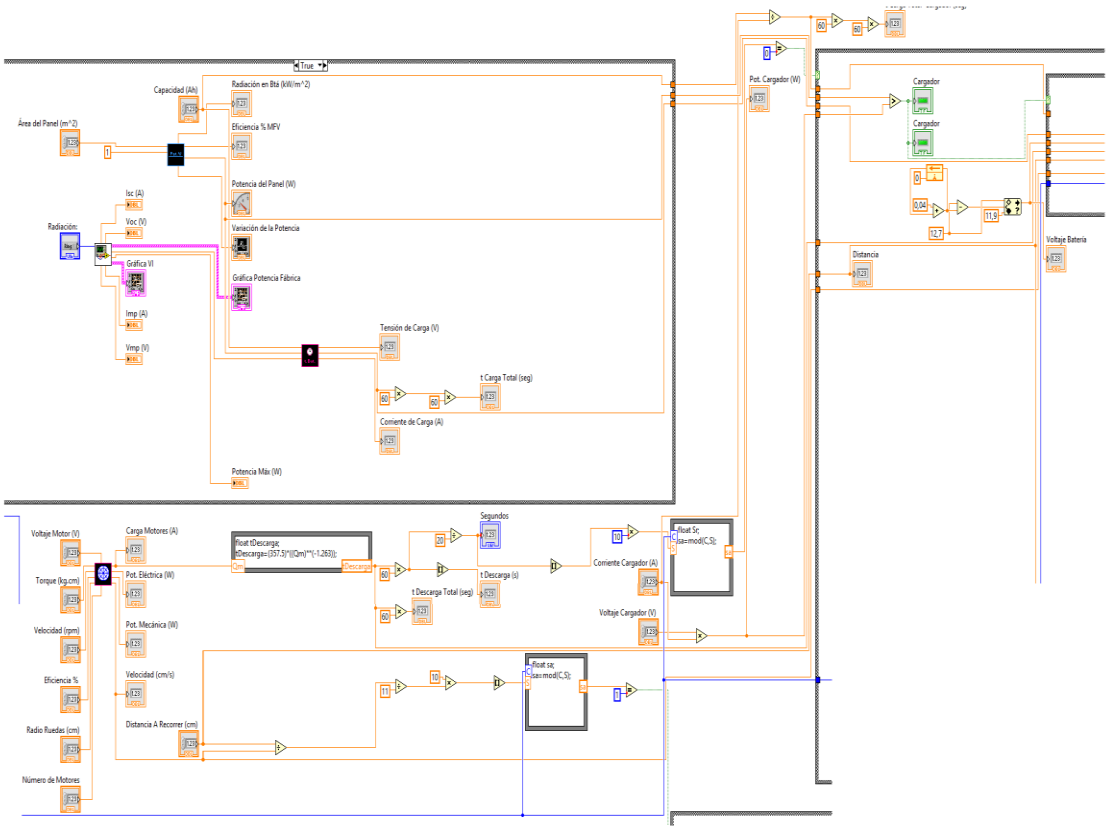
3.8.4 Garantía Suficiencia Energética

Posteriormente, al conocer el nivel de carga disponible en la batería, la radiación que está incidiendo en el módulo FV y la distancia que desea recorrer el usuario, el algoritmo determina si la energía con la que se dispone en la batería es suficiente para efectuar el recorrido en su totalidad.

Si la batería es suficiente, pone en marcha el vehículo (sin dejar de sensar las señales) y cuando se cumpla la totalidad del recorrido le notifica que ha llegado satisfactoriamente a su destino. Durante la totalidad del recorrido el usuario puede verificar el estado de carga y descarga en la batería.

En caso contrario, si la batería no es suficiente, el algoritmo evita que el vehículo se ponga en movimiento e inmediatamente alerta al usuario por batería baja y le notifica cuánto tiempo debe dejar cargándola. Transcurrido ese tiempo se realiza de nuevo la verificación de carga y el usuario puede iniciar su recorrido.

Figura 29. Proceso de Verificación de Carga



3.8.5 Activación Circuito de Carga Complementario

De manera paralela al proceso de verificación energética, se realiza una verificación en la radiación que está incidiendo en el Módulo FV; esto con el objetivo de calcular, como se mencionó anteriormente, la potencia que genera el módulo FV.

Cuando la radiación que incide en el panel nos genere una potencia eléctrica menor a la que se genera (de acuerdo a las especificaciones) con el cargador auxiliar, el algoritmo automáticamente activa la alimentación a través del circuito complementario. De igual forma, si más adelante la radiación aumenta y es suficiente para que el módulo cargue la batería, el algoritmo deshabilita la carga complementaria.

Cabe recalcar que lo anterior se logra mediante la implementación y configuración del circuito que se muestra en la Figura 22 y la Figura 23.

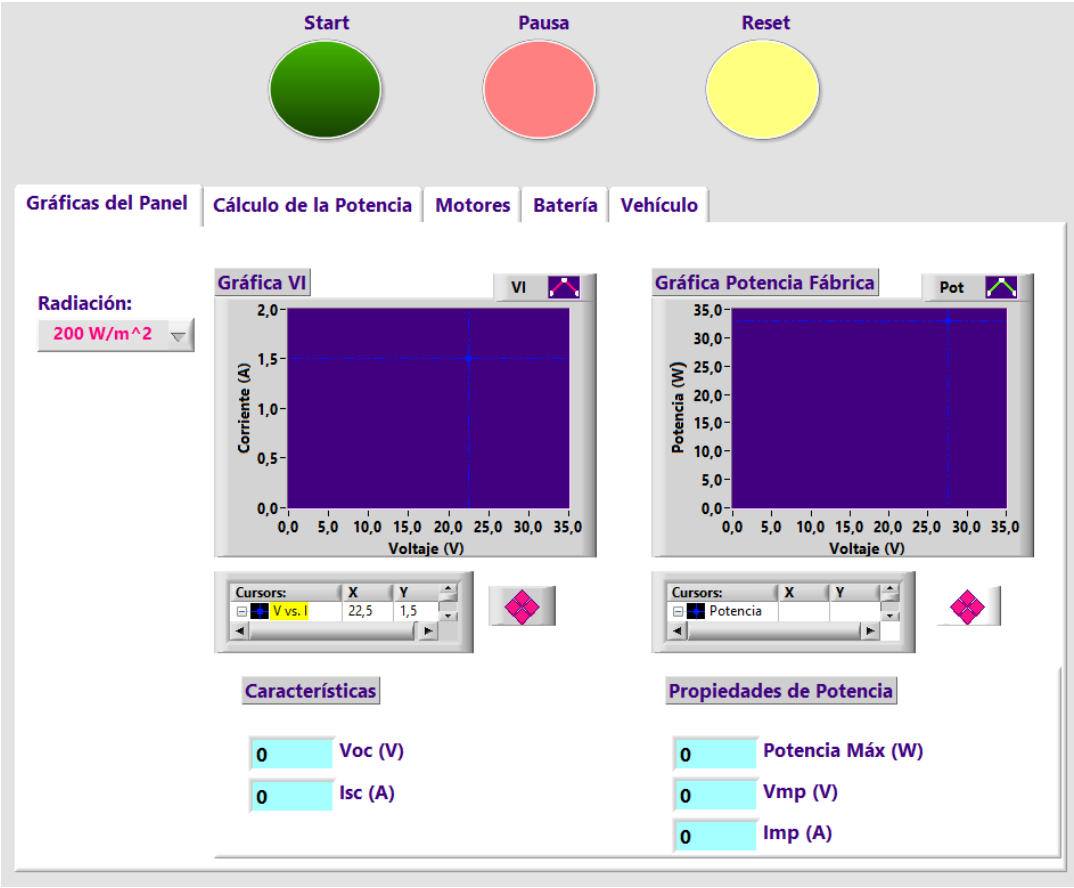
3.9 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO (GUI)

La interfaz de usuario, que se desarrolló en el Software de ©National Instruments – LabVIEW™; está dividida en 5 ventanas, en las cuales el usuario ingresará los datos de configuración inicial y podrá monitorear en todo momento el comportamiento de su vehículo, de la batería y del módulo FV.

Como se observa en la Figura 30, la GUI está compuesta por 3 botones que le permitirán al usuario Iniciar el vehículo, hacer una Pausa o Reiniciar el programa. Esa misma imagen corresponde a la primera ventana de las 5 que se nombraron anteriormente.

La Ventana #1, es más para que el usuario conozca y tenga como referencia las especificaciones del panel que está alimentando su vehículo. Estas especificaciones no son las mismas para los diferentes niveles de radiación, por eso el usuario puede elegir el nivel de radiación para el cual desea visualizar y conocer el comportamiento del módulo FV.

Figura 30. GUI – Ventana #1: Gráficas del Panel.



Las gráficas y valores del panel se obtuvieron a partir de los datos y procedimiento descrito en el Capítulo 3 (Pág.25).

En la Ventana #2 (Figura 31)Figura 31. GUI – Ventana #2: Potencia del Panel., se observa el comportamiento de la potencia respecto al nivel de radiación. En esta ventana el usuario ingresa por teclado el Área y Eficiencia del Panel, y el Período de Muestreo del radiómetro.

Enseguida se encuentra la Ventana #3 (Figura 32), la cual corresponde a la información de los motores y a las características electrónicas del cargador complementario. En esta ventana el usuario ingresa por teclado las especificaciones de los motores y el cargador, en donde de manera adicional el algoritmo monitorea los cambios en la velocidad de los mismos, la carga y la potencia mecánica como electrónica.

Figura 31. GUI – Ventana #2: Potencia del Panel.

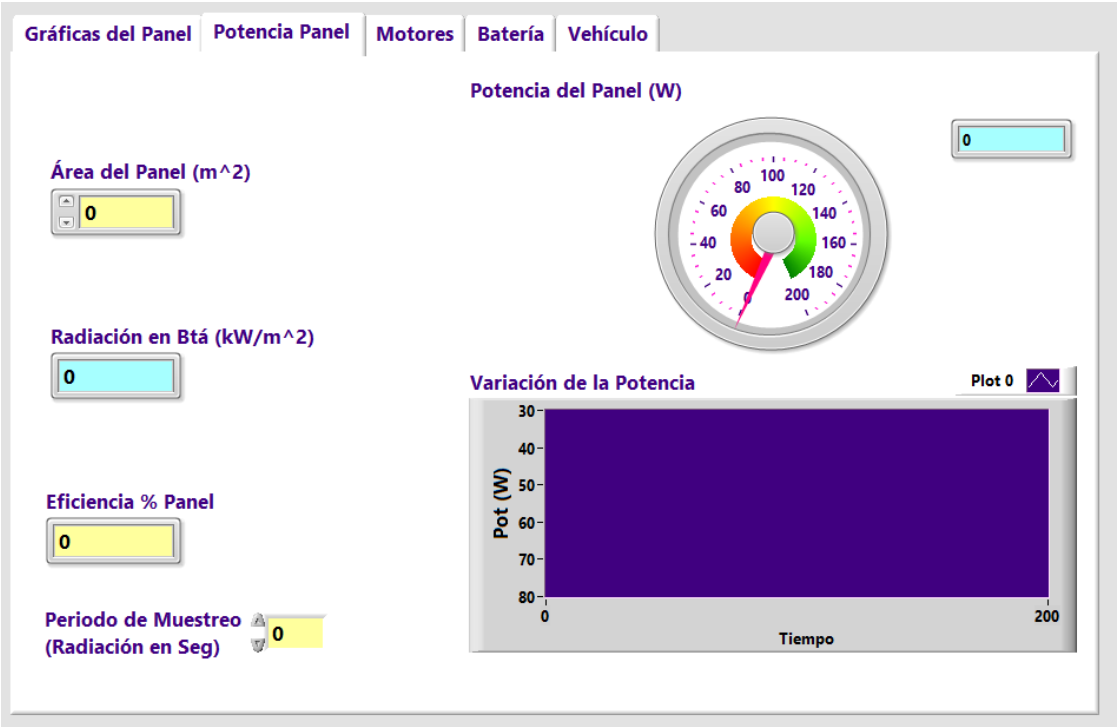
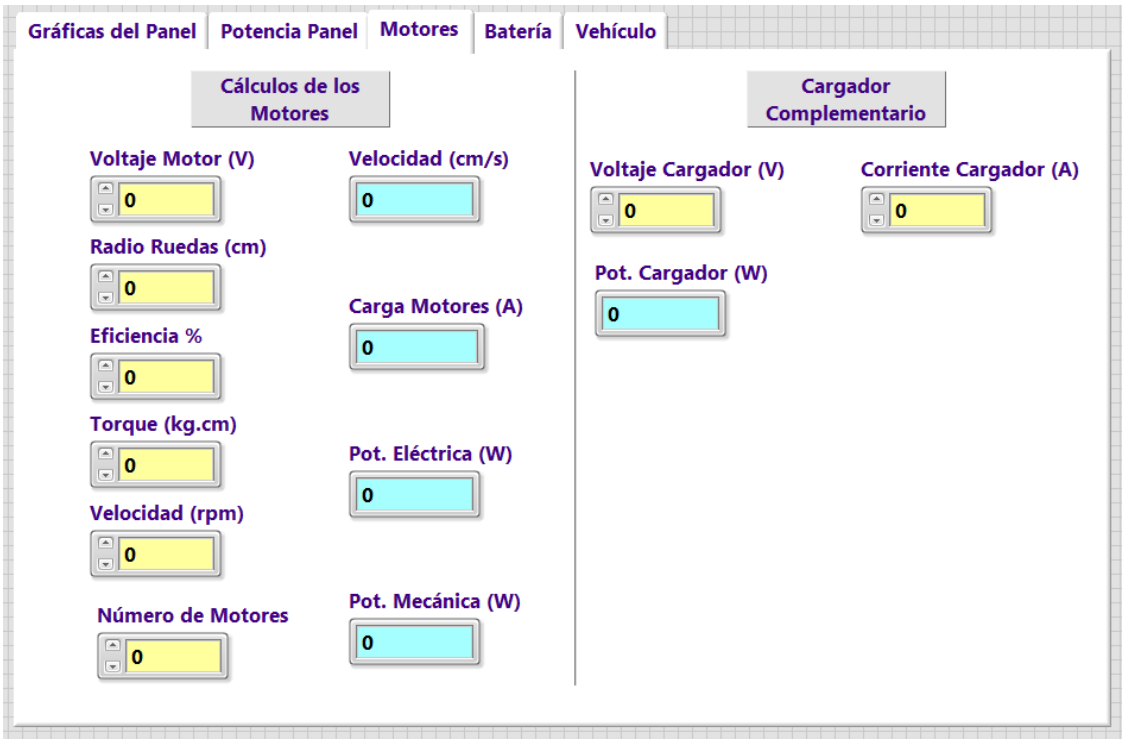


Figura 32. GUI - Ventana #3: Motores y Cargador Complementario.



La Ventana #4 (Figura 33) tiene una gran relevancia para el usuario, ya que en ella está contenido el monitoreo total del comportamiento de la Batería y el cambio del Cargador. Lo único que debe hacer el usuario, en esta ventana, es ingresar el valor de la Carga Nominal de la Batería o Capacidad seguido por el valor del voltaje de la misma, y el algoritmo se encarga de mostrarle el cambio en el nivel de carga de la batería, los tiempos y el cargador que está alimentando al sistema.

Lo que el algoritmo muestra en la GUI es:

- t Descarga Total, hace referencia al tiempo en segundos que tarda la batería en llegar de un 100% al 0%.

- El Tiempo Restante, es el tiempo que queda antes de que agote la batería o el tiempo útil, es decir, el tiempo que tarda en llegar desde un estado X de carga al 0%.

- t de Carga Total – MFV, se refiere al tiempo que tardará la batería en estar de un estado de carga del 0% a uno del 100%, de acuerdo a la potencia del módulo FV; dicho de otra manera es el tiempo que se tarda en cargar la batería cuando se encuentra con 0% de su capacidad.

- t de Carga Total – Cargador, es el tiempo que se tarda en cargar la batería cuando se encuentra con 0% de su capacidad, pero de acuerdo a la potencia del cargador complementario.

- t Carga Actual, hace referencia al tiempo que demorará la batería en recuperar la carga que se ha consumido hasta ese instante de tiempo, es decir, el tiempo que tarda en llegar desde un estado X de carga al 100%.

- Y por último Corriente y Voltaje de Carga, son los valores que el panel está generando y con los que se está alimentando la batería.

Finalmente está la Ventana #5 (Figura 34), se puede decir que es la más importante de la interfaz puesto que en ella convergen las otras incluido el algoritmo.

Figura 33. GUI - Ventana #4: Monitoreo de la Batería.

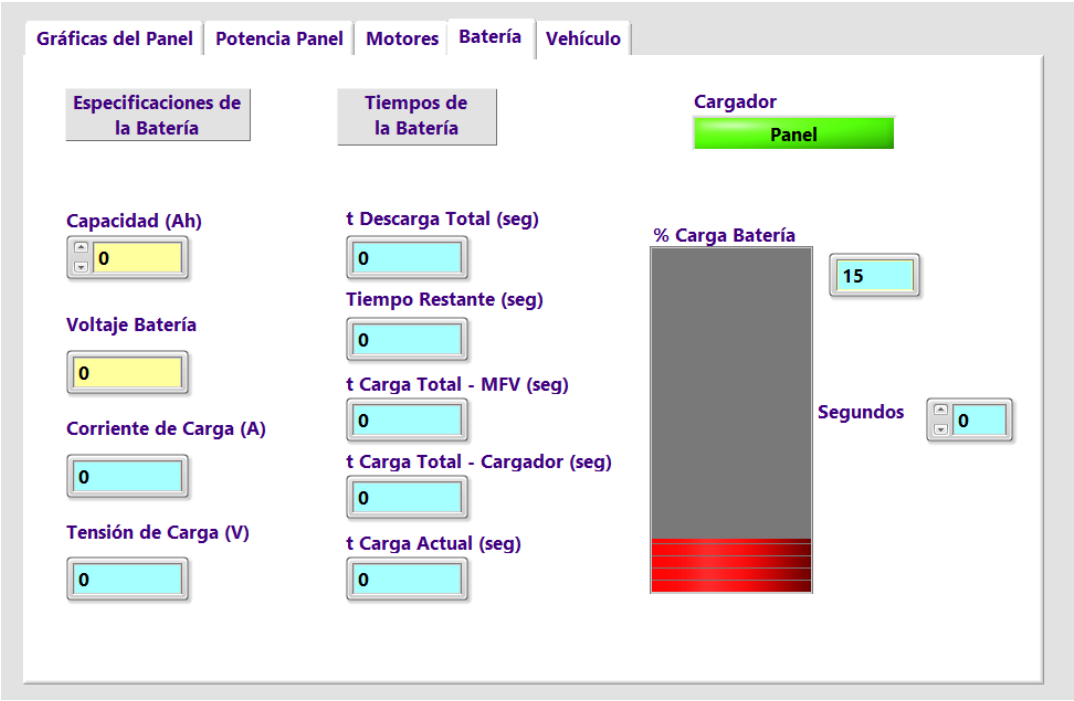
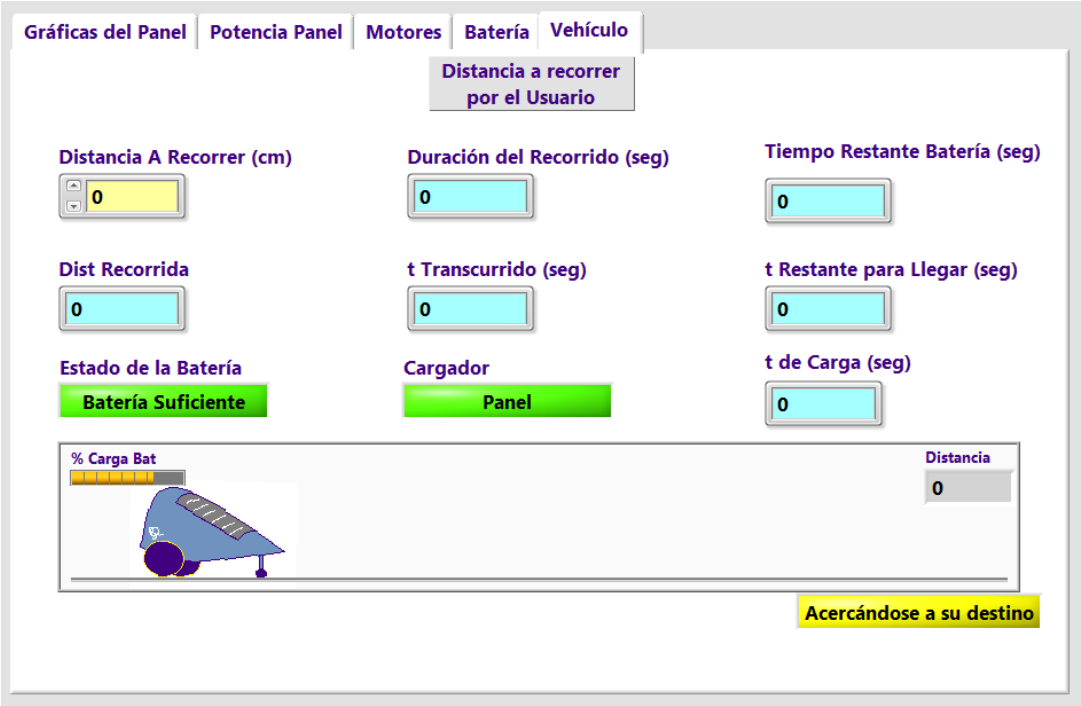


Figura 34. GUI - Ventana #5: Monitoreo Vehículo



Es aquí donde el usuario ingresa por teclado la distancia que desea recorrer e ingresado este último dato ya es posible oprimir el botón start, el cual como se mencionó anteriormente, es el encargado de inicializar el algoritmo de control.

En esta ventana el usuario tiene la información relevante del sistema como lo son:

- Dist Recorrida, hace referencia al la distancia que se ha recorrido en el vehículo hasta ese momento.

- Duración del recorrido, es el tiempo que se demorará en llegar el usuario a su destino.

- t Transcurrido, se refiere al tiempo ha pasado desde que se inició el trayecto.

- El Tiempo Restante Batería, es el tiempo que queda antes de que agote la batería y se apague el vehículo.

- t Restante para Llegar, es el tiempo que le hace falta esperar al usuario para llegar al final del recorrido.

- El t Carga, hace referencia al tiempo que demorará la batería en recuperar la carga que se ha consumido hasta ese instante, es decir, el tiempo que tarda en llegar desde un estado X de carga al 100%.

Adicionalmente están los indicadores de Carga, que le muestran al usuario si la batería es suficiente o no, cuál es el cargador que está alimentando la batería y una emulación del vehículo real, donde está un indicador de finalización del recorrido y otro del nivel de carga en la batería.

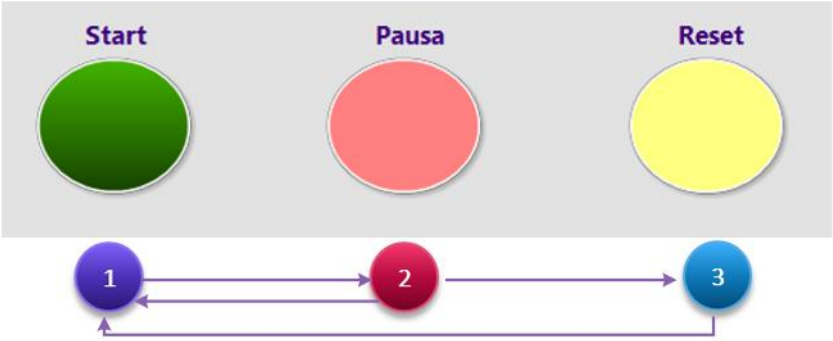
Es necesario mencionar que los botones tienen un orden para ser oprimidos, el cual es:

- Luego de haber cargado las configuraciones iniciales se oprime el botón ***Start.***

- Si se quiere hacer un receso en el programa, se oprime ***Pausa.*** Para continuar con el programa se oprime de nuevo ***Start.***

- Y si se desea reiniciar el programa se oprime el botón ***Reset,*** pero OJO este botón no se activa con el programa corriendo; para que reinicie debe haberse pausado el programa con anticipación.

Figura 35. Secuencia para oprimir los botones.



4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos al implementar el algoritmo de acuerdo a las especificaciones de diseño.

Partiendo de la GUI, lo único que queda es ingresar los datos del diseño con el que se está trabajando para probar el correcto funcionamiento del algoritmo y comparar los resultados con los análisis teóricos.

Los resultados del algoritmo son aproximaciones que le muestran al usuario el comportamiento de su vehículo, no son exactas ya que se está trabajando bajo condiciones ideales tanto en los motores como en el terreno donde se realiza el recorrido; sin embargo, pueden usarse como referencia para la simulación de sistemas. Así mismo todos los datos tienen una dependencia directa con los modelos matemáticos desarrollados, razón por la cual al someter el vehículo y sus configuraciones iniciales a perturbaciones los resultados del algoritmo cambian en su totalidad variando significativamente para cada uno de los casos.

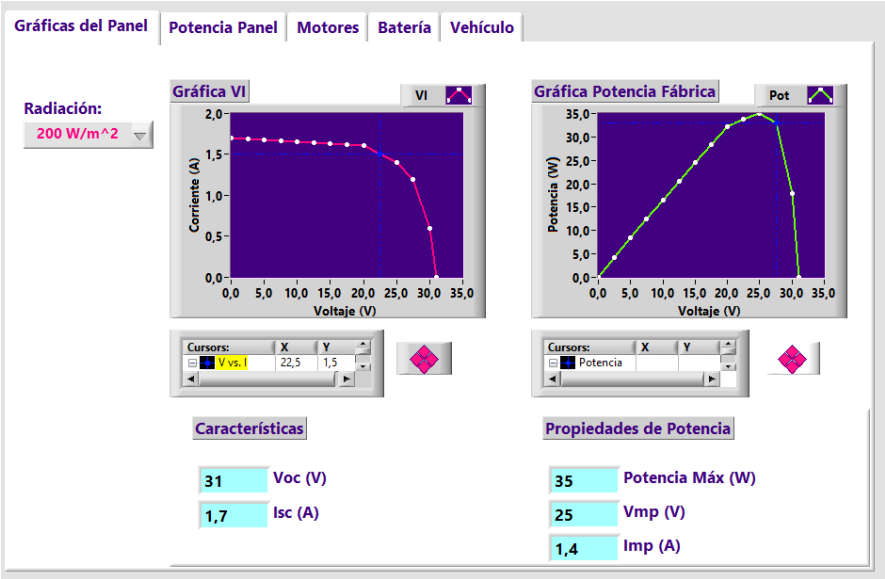
El comportamiento del algoritmo bajo las especificaciones que se tenían del trabajo previo fue estable, garantizando recorridos (sin modificar la carga ni la velocidad, en superficies planas y recorridos lineales) de hasta 2.26 Km con un porcentaje de carga del 100% lo que aproximadamente corresponde a 1h 15min de carga útil disponible en la batería.

Durante las pruebas del algoritmo, se presentan retardos en la visualización de datos causados por los temporizadores en cada una de sus etapas; esto ocurre debido a que el sistema es esclavo del periodo con el que se adquieren las señales y adicionalmente las variables relevantes son dependientes de otras que se actualizan en ciclos diferentes.

4.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS Y DATOS COMPLEMENTARIOS DEL MÓDULO FV

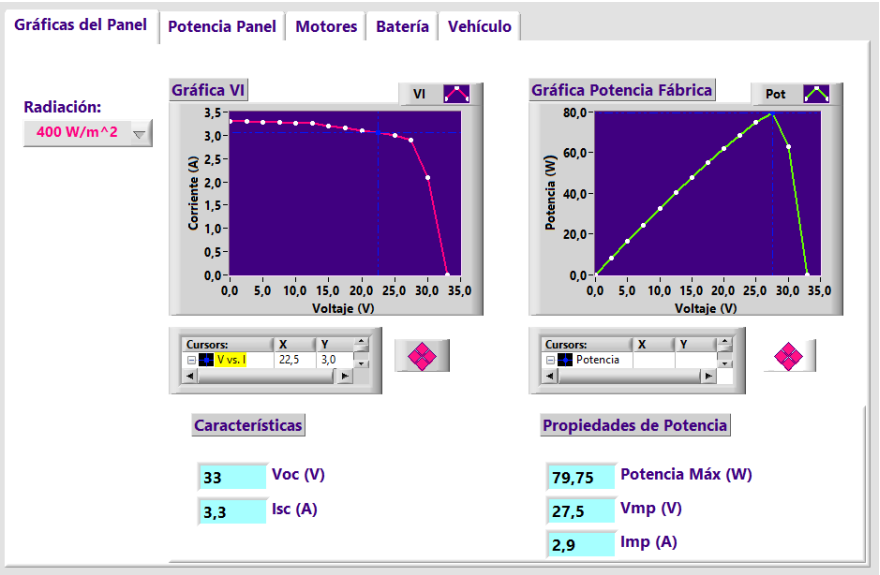
4.1.1 Curvas del Módulo FV a 200 w/m^2

Figura 36.GUI - Curva Característica del Panel a 200 w/m^2.



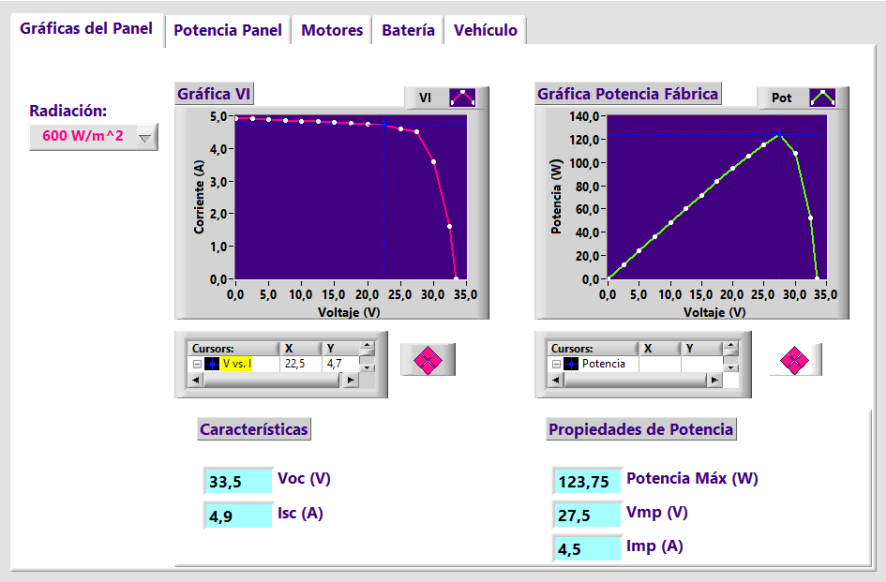
4.1.2 Curvas del Módulo FV a 400 w/m^2

Figura 37.GUI - Curva Característica del Panel a 400 w/m^2.



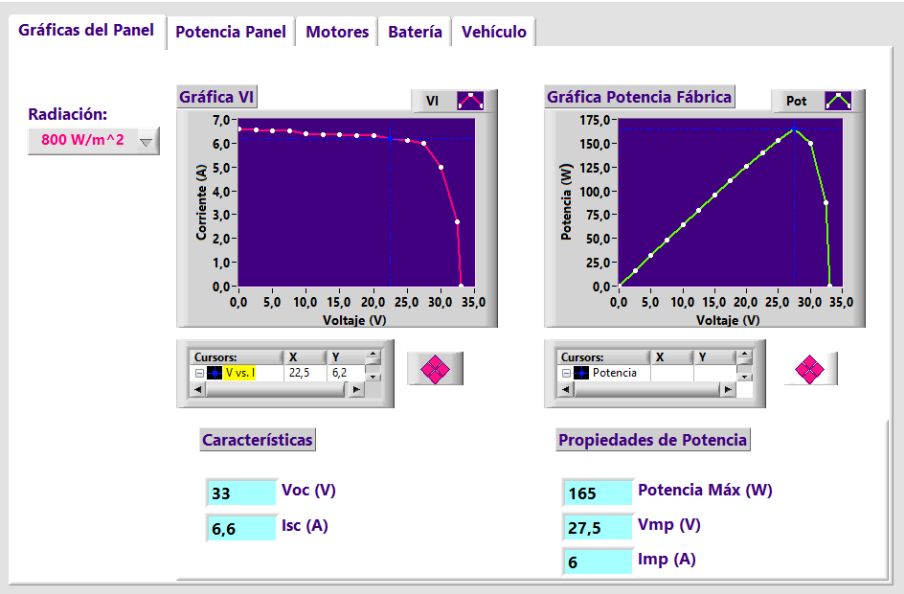
4.1.3 Curvas del Módulo FV a 600 w/m^2

Figura 38. GUI - Curva Característica del Panel a 600 w/m^2.



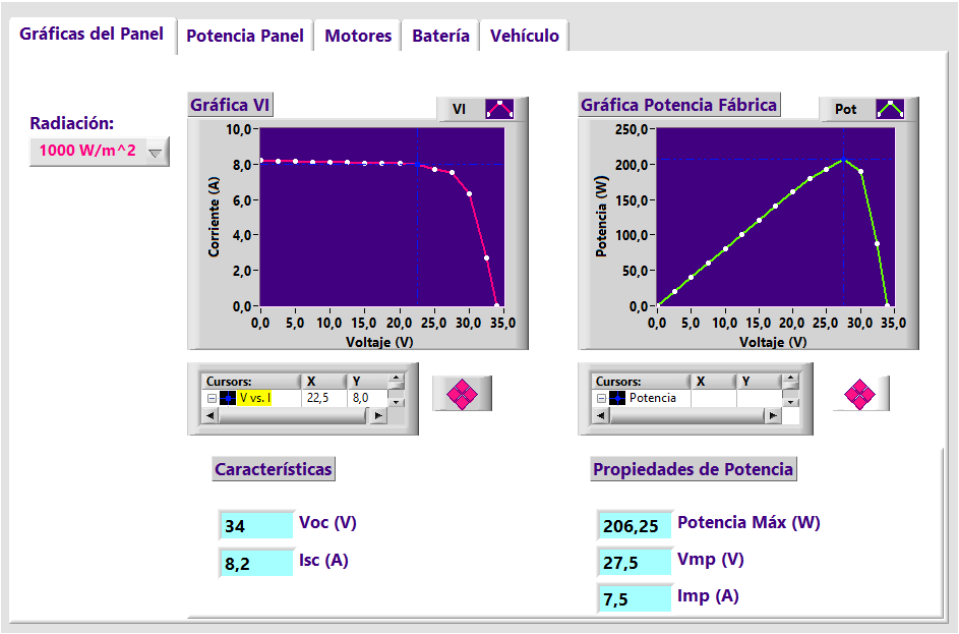
4.1.4 Curvas del Módulo FV a 800 w/m^2

Figura 39. GUI - Curva Característica del Panel a 800 w/m^2.



4.1.5 Curvas del Módulo FV a 1000 w/m^2

Figura 40. GUI - Curva Característica del Panel a 1000 w/m^2.



4.2 VARIACIÓN DE LA POTENCIA

Se probó la variación con las especificaciones de diseño y luego con la tabla de Excel que genera LabVIEW se realiza una comparativa entre el cálculo teórico y el que realiza el programa.

Figura 41. Imagen en detalle de la variación de la Potencia.

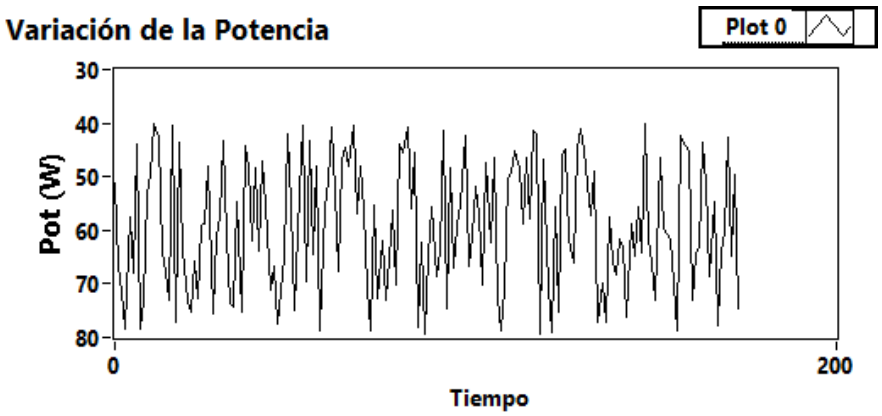


Figura 42. GUI - Variación de la Potencia del MFV.

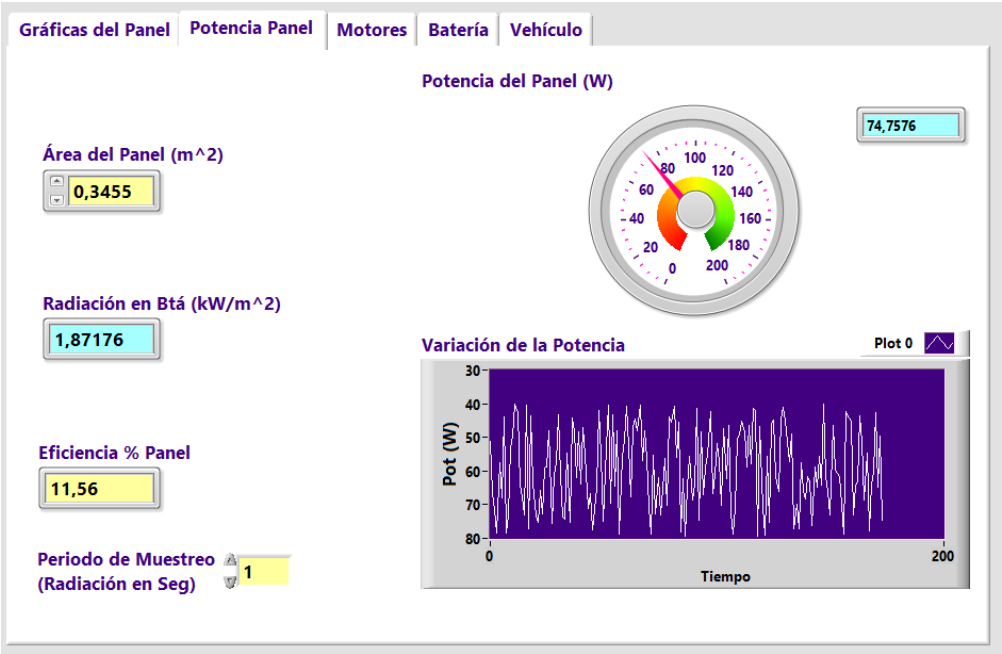
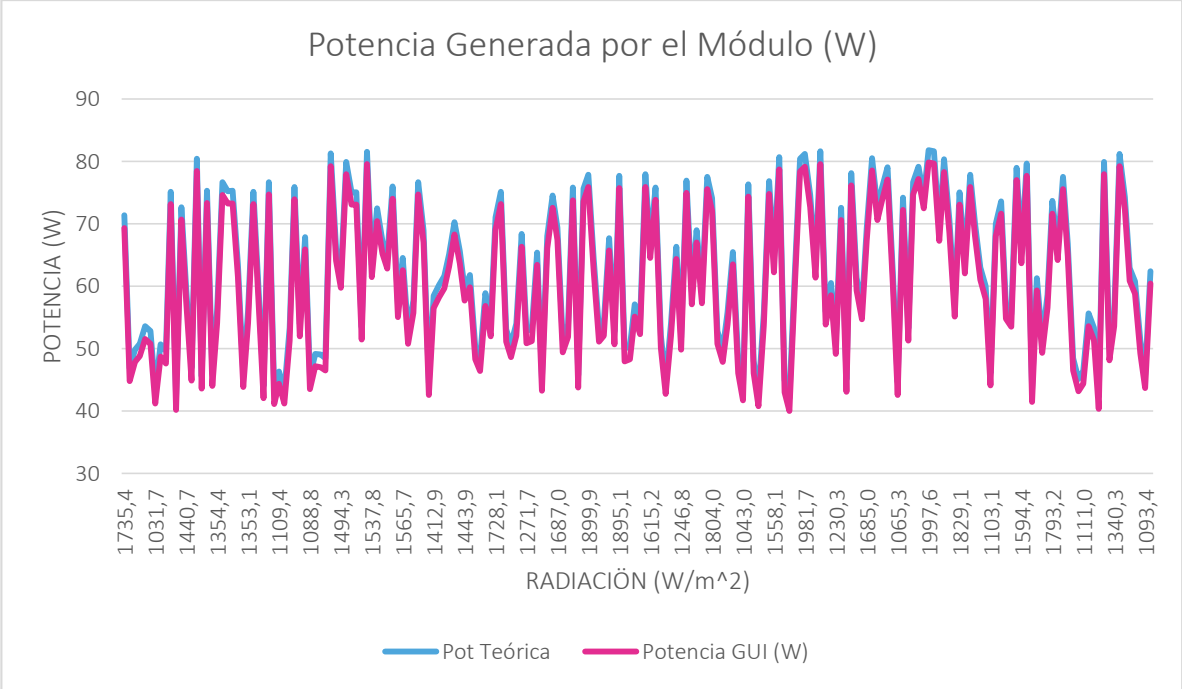


Figura 43. Resultados Potencia GUI y Potencia Teórica.

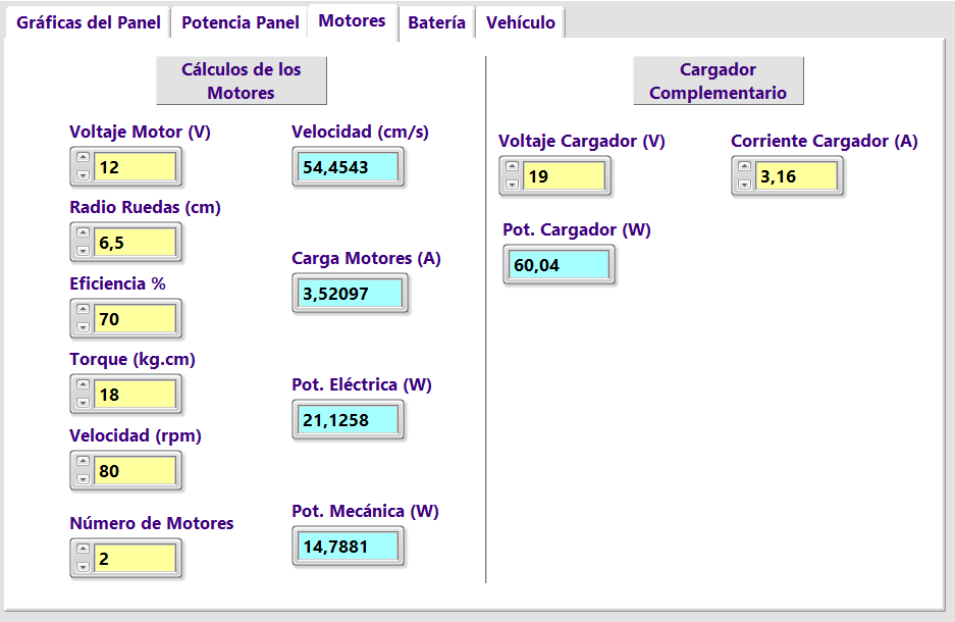


Como se puede ver en la Figura 43. Resultados Potencia GUI y Potencia Teórica., los resultados son casi iguales, existe una diferencia del 0.2% por la aproximación de decimales que se realizó en el cálculo teórico.

4.3 CÁLCULOS DE LOS MOTORES

Se ingresan las especificaciones del motor descritas en la página 23 y las características del cargador complementario especificadas en la página 45.

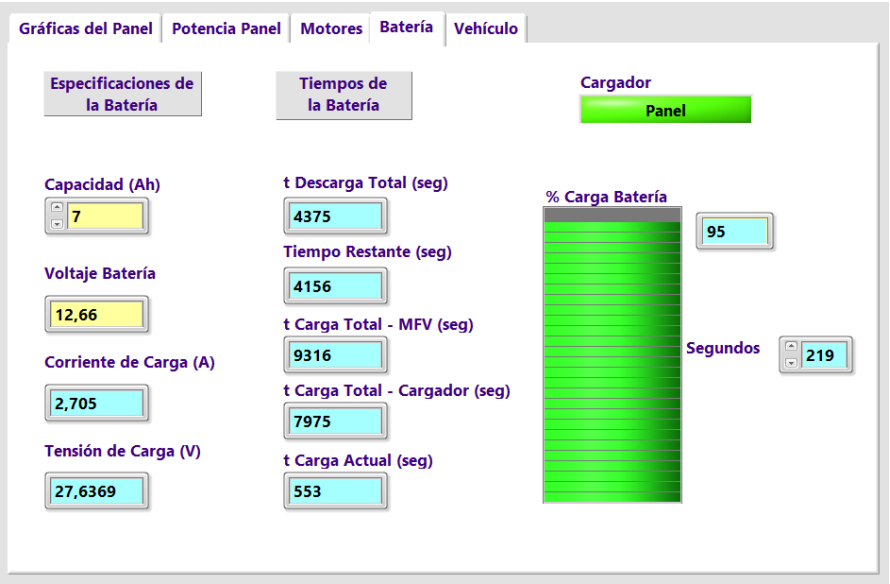
Figura 44. GUI - Cálculos Motor y Cargador Complementario.



4.4 CÁLCULOS Y MONITOREO DE LA BATERÍA

Se ingresan las especificaciones de la batería NP7-12 YUASA de 7Ah y 12V.

Figura 45. Monitoreo de la Batería.



4.5 MONITOREO DEL VEHÍCULO

Se ingresa la distancia a recorrer y se verifica el funcionamiento del algoritmo e indicadores.

Figura 46. Monitoreo del Vehículo antes de llegar.

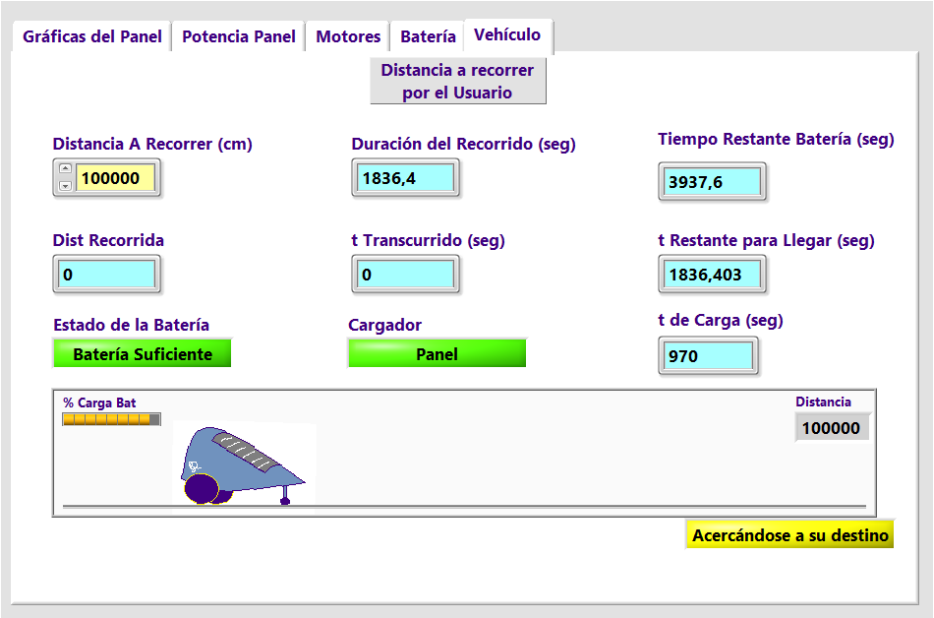
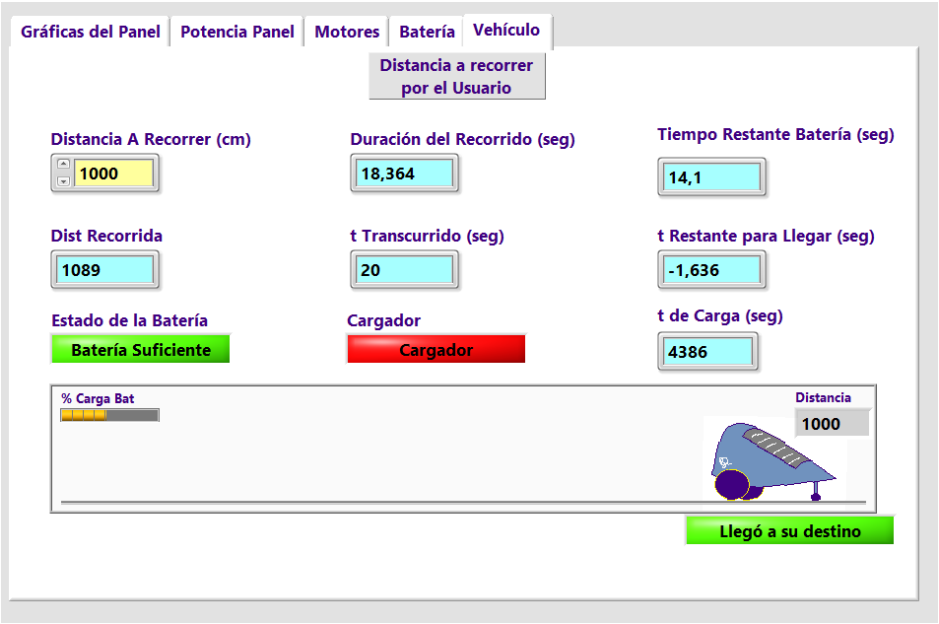


Figura 47. Monitoreo Vehículo cuando llegó.



5. CONCLUSIONES

El objetivo principal del trabajo es diseñar un algoritmo de control que garantice la energía suficiente para diferentes recorridos, pero para llegar al diseño y programación del mismo, se tuvo que realizar una ardua labor investigativa en el campo de las energías alternativas y especialmente en el funcionamiento de las baterías.

Uno de los principales retos y puntos de partida para el desarrollo del algoritmo fue la caracterización del Módulo FV para la radiación en Bogotá, ya que a pesar de que se tenía una ecuación donde se relacionaban los términos directamente, el panel con el que se construyó el vehículo no tenía establecido por su fabricante la eficiencia del mismo.

Cuando se logra obtener el valor de la eficiencia del módulo, el proceso de caracterización se simplifica y la preocupación cambia a la medición de la Radiación Solar, qué tan exacto está siendo el sensor que se eligió y si es el nivel necesario para que el módulo genere una potencia suficiente para cargar la batería. Con los procedimientos efectuados, se concluye y se confirma que las mejores unidades para realizar cálculos en sistemas FV son los kWh ya que se ven directamente afectados por la Radiación, más que por la intensidad de la luz que incide en ellos.

Posteriormente, para entender el comportamiento de la batería, fue necesario estudiar los conceptos y estándares de fabricación; verificando que en el proceso de descarga a pesar de presentarse variación en el voltaje (mínima para las baterías líquidas), lo que se afecta directamente es el nivel de corriente presente en sus terminales. La corriente es la que nos determina directamente los tiempos de carga y descarga de la batería.

Finalmente con la información recopilada se logra el diseño del algoritmo incluyendo el circuito de implementación necesario para su funcionamiento. A lo largo del desarrollo del trabajo se realizan diversas pruebas, en distintas circunstancias, sobre el algoritmo; verificando de esta forma su correcto funcionamiento. El algoritmo garantiza que el usuario no inicie un recorrido sin la carga suficiente y determina si la generación con el sistema FV es o no suficiente para cargar la batería, logrando reducir los tiempos de carga para el usuario mediante la integración del circuito complementario.

6. RECOMENDACIONES

Es importante recalcar que los niveles de descarga en las baterías se deben monitorear cuidadosamente; en los sistemas FV donde se presentan niveles muy bajos de voltajes y corrientes se debe tener un control directo sobre estos para evitar daños graves en los dispositivos de almacenamiento.

Para realizar la medición del nivel de radiación, es indispensable contar con un instrumento que sea confiable y preciso, que no presente desviaciones en las mediciones y que las unidades en las que presenta los datos sean las indicadas para la aplicación.

Se sugiere como trabajo futuro implementar el algoritmo basado en adquisición de señales en tiempo real y mejorar algunas características en el diseño del vehículo, como el diámetro de las llantas y con la implementación de frenos, para poder desarrollar un modelo matemático más robusto con posibilidad de implementar algo de regeneración energética.

Así mismo reemplazar el circuito de conmutación por un circuito de regulación en donde la energía del cargador complementario sea sumada o adicionada a la que se está generando con el sistema FV, pero para conseguir esto lo ideal sería adicionar otro módulo FV disminuyendo aún más el porcentaje de energía que se capta del otro circuito.

REFERENCIAS

[1] J. Colgan, «40 years after the oil crisis: Could it happen again?,» *The Washington Post,* 16 Octubre 2013.

[2] Energía Diario, «energíadiario.com,» 08 Marzo 2010. [En línea]. Available: http://www.energiadiario.com/publicacion/spip.php?article13410. [Último acceso: 15 Noviembre 2013].

[3] Revista Semana, «Semana,» 29 Noviembre 2013. [En línea]. Available: http://www.semana.com/mundo/articulo/el-proyecto-de-energia-solar-mas-grande-del-mundo-en-chile/366459-3. [Último acceso: 30 Noviembre 2013].

[4] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «MinAmbiente,» Axesnet, [En línea]. Available: http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido_preview.aspx?conID=5921&catID=991. [Último acceso: 15 Noviembre 2013].

[5] A. P. d. Noticias y América Economía, «Instalarán 500 mil paneles solares en zonas rurales del Perú hasta 2016,» 01 Abril 2013. [En línea]. Available: http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/instalaran-500-mil-paneles-solares-en-zonas-rurales-del-peru-hasta-2016. [Último acceso: 30 Noviembre 2013].

[6] U.S. Department of Energy, «Office of Energy Efficiency & Renewable Energy,» Julio 2013. [En línea]. Available: www1.eere.energy.gov/education/pdfs/energy_literacy_2.0_low_res.pdf. [Último acceso: Octubre 2013].

[7] D. Bowman, J. Balch y P. Artaxo, «Fire in the Earth System,» *Science,* vol. 324, nº 5926, pp. 481-484, 2009.

[8] J. P. Oleson, Metalworking and Tools: The Oxford Handbook of Engineering, Oxford University Press, 2009, p. 418–38 (432).

[9] E. J. Hobsbawm, Industria e imperio, Barcelona: Ariel, 2006.

[10] Bettmann/CORBIS, «Nikola Tesla: Su Vida En Imágenes,» Discovery Communications, Inc, 23 Julio 2013. [En línea]. Available: http://www.tudiscovery.com/imagenes/galleries/nikola-tesla-su-vida-en-imagenes/. [Último acceso: 14 Noviembre 2013].

[11] National Geographic, «Energía Hidroeléctrica,» National Geographic Society, [En línea]. Available: http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/hydropower-profile. [Último acceso: 17 Noviembre 2013].

[12] United Nations Development Programme, Human Development Report 2013, New York: Communications Development Incorporated, 2013.

[13] Ministerio de Educación, «Colombia una potencia en energías alternativas,» [En línea]. Available: http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html. [Último acceso: 13 Septiembre 2013].

[14] Mundo Solar, «Historia de los Autos Solares,» [En línea]. Available: http://www.dforcesolar.com/energia-solar/historia-de-los-autos-solares/. [Último acceso: 13 Septiembre 2013].

[15] E. D. P. Carreno Aguillon, E. A. Vacca Melo y I. Lugo Ariza, «Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar,» *Tecnura,* vol. 16, nº 32, pp. 91-106, Abril - Junio 2012.

[16] W. A. Vallejo Lozada, J. Hernandez y E. Saenz, «Estudio del Recurso Solar en la Ciudad de Bogotá para el Diseño de Sistemas Fotovoltaicos Interconectados Residenciales,» *Revista Colombiana de Física,* vol. 42, nº 2, 2010.

[17] J. P. Ríos, «ElMundo.com,» 13 Agosto 2013. [En línea]. Available: http://www.elmundo.com/portal/noticias/movilidad/primer_vehiculo_solar__colombiano_rumbo_a_australia.php. [Último acceso: 13 Septiembre 2013].

[18] V. Cardozo, F. Fernández y J. Duarte, «Diseño y construcción de un calentador solar didáctico,» *Revista Colombiana de Física,* vol. 37, nº 2, 2005.

[19] J. C. Burbano J., Á. H. Restrepo y Ó. J. Sabogal F, «Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por por termosifón,» *Scientia et Technica,* vol. XII, nº 31, 2006.

[20] G. A. López Martínez, J. A. Mantilla López y B. H. Poveda Suárez, «Evaluación de un calentador solar de agua fabricado con tubería PVC en serie y envases pet translucidos,» *Tecnura,* vol. 16, pp. 120-128, 2012.

[21] J. U. M. Sánchez, «Beneficios Económico-Sociales al aplicar un Proyecto de vivienda sustentable en el noroeste del país,» Universidad Nacional Autónoma, México D:F, 2010.

[22] S. Jiménez Pozo y R. Caba Olivella, «Instalación eléctrica y domótica de una vivienda con generación eléctrica mediante energía solar fotovoltaica,» *Universitat Politècnica de Catalunya,* 2013.

[23] S. Nieto y A. Mario, «Estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico que aporte como respaldo a la red de energia electrica convencional,» 2012.

[24] I. González Reolid y A. Guerrero González, «Vehículo solar autónomo para el desarrollo de algoritmos de generación de trayectorias optimizados

energéticamente,» *Jornadas de introducción a la investigación de la UPCT,* nº 6, pp. 70-72, 2013.

[25] P. M. Ciancio, M. H. Peralta, L. O. Pico, M. A. Spina, S. R. Rossi y R. J. de la Vega, «Desarrollo de un vehículo experimental con sistema híbrido de energía,» *Revista Cubana de Ingeniería (RCI),* vol. IV, nº 2, pp. 49-57, 2013.

[26] ETSEIB, «Estrategia y análisis energético de un vehículo solar de competición (Despertaferro),» [En línea]. Available: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/17855/1/PFC_DCP_.vF.pdf. [Último acceso: 30 Octubre 2013].

[27] J. D. Chandi Pozo y W. Salazar Cadena , «Implementación de un Sistema Eléctrico alimentado por energía solar, a un vehículo monoplaza propulsado por un motor,» *Universidad Técnica del Norte (Ecuador),* pp. 1-132, 2012.

[28] C. Sevilla Segura, «Reflexiones entorno al concepto de Energía. Implicaciones curriculares,» *Enseñanza de la Ciencia,* vol. 4, nº 3, pp. 247-252 , 1986.

[29] Energías como bienes comunes y A. Vercelli, «¿Qué es la energía?,» 21 Junio 2012. [En línea]. Available: http://www.energias.bienescomunes.org/2012/06/21/que-es-la-energia/. [Último acceso: 19 Septiembre 2013].

[30] L. M. M. Sánchez, «Tras la huella del asesino (Tipos de Energía),» *Revista Universitas Científica,* vol. V, pp. 27-29.

[31] E. P. Odum, Ecología. Bases científicas para un nuevo paradigma, Barcelona: Vedrá, 1992, pp. 69 - 70.

[32] J. A. Duffie y W. A. Beckman, Solar energy thermal processes, USA: University of Wisconsin-Madison, 1974.

[33] Comisión Nacional de Energía Atómica, «Energía solar,» [En línea]. Available: http://www.cnea.gov.ar/investigacion_desarrollo/energia_solar.php. [Último acceso: 15 Septiembre 2013].

[34] M. A. Lozano, J. Ramos y R. Monzón, «Optimización de sistemas de cogeneración para calefacción y refrigeración de distrito,» *Anales de Ingeniería Mecánica,* vol. 15, nº 2, pp. 1385-1393, 2004.

[35] Energía Solar Térmica, «Energía Solar Térmica,» Energía Solar Térmica, [En línea]. Available: http://www.energiasolartermica.biz/. [Último acceso: 16 Septiembre 2013].

[36] Secretaría de Energía, Energías Renovables 2008 - Energía Solar, Argentina: Tecnología de la Información, 2008.

[37] Energía Integral Andina, «Energía Solar Fotovoltaica,» 10 Junio 2012. [En línea]. Available: https://www.energiaintegralandina.com/index.php/productos/unidad-energia/energia-solar-fotovoltaica.html. [Último acceso: 15 Septiembre 2013].

[38] J. Haas, «Guía Teórica - Experiencia Solar Activa,» Universidad de Chile, Chile, 2009.

[39] SENSOVANT, «Sensores Termoeléctricos de Radiación Solar y Medidores Térmicos,» SENSOVAT, [En línea]. Available: http://www.sensovant.com/productos/meteorologia/radiacion-solar/sensores-medidores-instrumentos-radiacion-solar.html. [Último acceso: 18 Septiembre 2013].

[40] Gobierno de Navarra, «Energías renovables: Energía solar,» AEmet, [En línea]. Available: http://meteo.navarra.es/energiasrenovables/energiasolar.cfm. [Último acceso: 16 Septiembre 2013].

[41] L. R. d. Luis, «Cálculo de la Radiación,» Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía Solar y Automática, 2004. [En línea]. Available: http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/02_intermedio/ej_cal_radiacion.htm. [Último acceso: 20 Septiembre 2013].

[42] Eucerín, «El espectro solar,» © BEIERSDORF , 2009. [En línea]. Available: http://www.eucerin.com/es/la-piel/acerca-de-la-piel/proteccion-del-sol/el-espectro-solar/. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].

[43] Tecnovex, «Piranómetro,» Persedi Design, 2010. [En línea]. Available: http://www.tecnovex.com/piranometro. [Último acceso: 25 Septiembre 2013].

[44] J. Inzunza, «Radiación solar y terrestre.,» [En línea]. Available: http://www.met.igp.gob.pe/users/yamina/meteorologia/radiacion_doc_Univ_CHile.pdf. [Último acceso: 22 Septiembre 2013].

[45] Technometrik, «Luxómetros,» Joomla, [En línea]. Available: http://technometrik.com/index.php?option=com_virtuemart&view=category&virtuemart_category_id=7. [Último acceso: 26 Septiembre 2013].

[46] Solutecnia, «Paneles solares,» AOP, [En línea]. Available: http://solutecnia.com.co/solutecnia/index.php/catalogo/paneles-solares/view/category/virtuemart_category_id/3/error/404. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].

[47] Alibaba.com, «Paneles 48V,» Alibaba.com, 2013. [En línea]. Available: http://www.alibaba.com/showroom/48v-solar-panel.html. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].

[48] C. Orbegozo y R. Arivilca, «Energía Verde,» 2010. [En línea]. Available: http://energiaverde.pe/wp-

content/uploads/2010/06/Manual_ES_Fotovoltaica.pdf. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].

[49] SUCONEL, «Regulador de Voltaje,» Suconel, [En línea]. Available: http://201.232.58.13/pub/internet/nuevo/sc15a.pdf. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].

[50] J. F. Ferichola, «Caracterización de Módulos Fotovoltaicos con dispositivo portatil,» [En línea]. Available: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/PFC_Julio_Fernandez_Ferichola.pdf?sequence=1. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].

[51] CLEANERGYsolar.com, «Características eléctricas de un panel solar.,» CLEANERGYsolar.com, 2010. [En línea]. Available: http://www.cleanergysolar.com/2011/07/28/tutorial-solar-fotovoltaica-caracteristicas-electricas-de-un-panel-solar/. [Último acceso: 22 Septiembre 2013].

[52] T. Croft, C. C. Carr y J. H. Watt, American Electrician´s Handbook, New York: Mc Graw-Hill, 3a. Ed.

[53] Ferve, «Ferve - Technical Support - Battery Life,» [En línea]. Available: http://www.ferve.com/images/dossier%20BATERIES_es.pdf. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].

[54] E. Rodríguez, «Baterías Líquidas – La solución para el almacenamiento de la energía solar,» Fieras de la Ingeniería, 09 Marzo 2009. [En línea]. Available: http://www.fierasdelaingenieria.com/baterias-liquidas-la-solucion-para-el-almacenamiento-de-la-energia-solar/. [Último acceso: 1 Noviembre 2013].

[55] EBIMED, «Unas nuevas baterías para coches más seguras y de más larga duración,» El Rincón de la Ciencia y la Tecnología , 10 Enero 2011. [En línea]. Available: http://elrincondelacienciaytecnologia.blogspot.com/2011/10/unas-nuevas-baterias-para-coches-mas.html. [Último acceso: 1 Noviembre 2013].

[56] Renobat, «Tipos de Carga,» Renobat, 20 Septiembre 2012. [En línea]. Available: http://es.renobat.eu/Comunicacio/Articulos-273/Tipos_de_carga-78.htm. [Último acceso: 1 Noviembre 2013].

[57] Battery Controller, «Información técnica sobre las baterías,» [En línea]. Available: http://www.batterycontroller.com/es/info_baterias_y_tecnologia.html. [Último acceso: 1 Noviembre 2013].

[58] R. Doering, «Cómo calcular el tiempo de carga de una batería,» [En línea]. Available: http://www.ehowenespanol.com/calcular-carga-bateria-como_47860/. [Último acceso: 3 Noviembre 2013].

[59] J. P. Arévalo Molina y R. D. Ortiz Jiménez, «Sistema de Alimentación de Energías Renovables para desplazamiento de vehículo,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2013.

[60] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), «Radiación Solar en Colombia,» de *Atlas de la Radiación Solar en Colombia*, Bogotá, 2004, pp. 25-40.

[61] YUASA, «Valve Regulated Lead Acid Battery - Manual,» 12 Diciembre 1999. [En línea]. Available: www.yuasa-battery.co.uk. [Último acceso: 5 Noviembre 2013].

[62] L. A. López de Jesús, «Sistema electrónico para el control de una dirección diferencial con motores brushless,» *Universidad Nacional Autónoma de México,* pp. 1-95, 2012.

[63] E. E. Guerrero Merino, «Control óptimo de vehículos eléctricos con energía disponible restringida en ruta parcialmente conocida,» *Universidad de Chile,* pp. 1-83, Septiembre 2013.