

PROLOGO

LOS MEDIOS DE TRANSPORTE

Desde el primer momento de su existencia, el hombre camina y se desplaza, quiere ir cada vez más lejos, y para satisfacer estas necesidades indudablemente debe inventar. Así es como, desde los primeros troncos usados en forma de rodillos, pasando por la rueda, los barcos a vela y los aviones, el hombre fue creando los medios que le permitieron, por necesidad o curiosidad, transportarse de un lugar a otro.

Fueron motivaciones históricas, antropológicas y biológicas las que llevaron al hombre a desarrollar los diversos medios de transportes existentes, además, de que existen varios tipos de transportación, como lo son acuáticos, terrestres, aéreos y ahora, espaciales, pero nos concentraremos en el transporte terrestre.

Cuando el hombre comienza a desplazarse, ya sea para comer, conquistar nuevos mundos o por mera curiosidad, se ve en la necesidad de depender de algún medio de locomoción.

Los primeros vehículos eran trineos de madera, y deben haber sido utilizados por tribus de todo el mundo. Para transportar cargas pesadas se usaban troncos a modo de rodillos; finalmente lo construyeron de una sola pieza, al unir los troncos con maderas transversales y atar todo el conjunto con tiras de cuero.

Cuando se inventó la rueda, uno de los más maravillosos de la historia, se inició el desarrollo de todo tipo de transportes terrestres. La rueda fue creada en el neolítico y mejorada en la edad de los metales.

La primera fue parecida a un rodillo. Su aplicación fué el uso en los carros. Motivada por la observación de que un tronco cilíndrico facilitaba considerablemente el transporte de cuerpos pesados. La rueda ha sufrido numerosas mutaciones a través de los tiempos hasta alcanzar la optimización.

El transporte terrestre se desarrolló despacio. Durante siglos los medios tradicionales de transporte, restringidos a montar sobre animales, carros y trineos tirados por animales (carruaje, diligencia), raramente excedían de un promedio de 16 km/h. El transporte terrestre mejoró poco hasta 1820, año en el que el ingeniero británico George Stephenson adaptó un motor de vapor a una locomotora e inició, entre Stockton y Darlington, en Inglaterra, el primer ferrocarril de vapor.

El transporte terrestre tiene cada vez más auge, y hoy en día son millones las personas que se trasladan dentro de la ciudad, dentro de un país y entre países, ocupando autobuses, camiones y autos. También suman miles las toneladas de carga que se trasladan a diario entre los distintos mercados.

HISTORIA DE LA BICICLETA

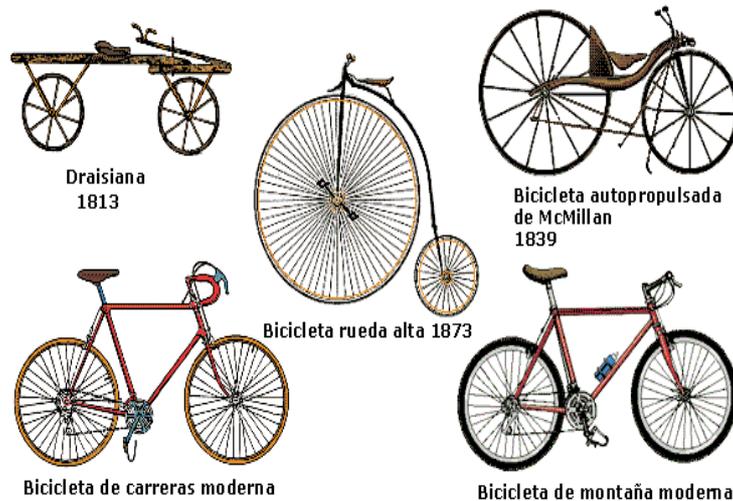


Figura 1 Modelos de bicicletas a través del tiempo

Los antepasados de la bicicleta se remontan muy atrás en la historia. Ya entre los egipcios encontramos una máquina rudimentaria compuesta por dos ruedas unidas por una barra. También en China existió una máquina muy similar, pero con las ruedas de bambú. Siglos más tarde aparece una auténtica bicicleta entre los dibujos de Leonardo da Vinci.

La verdadera historia de la dos-ruedas comienza en París en 1790, año en que el conde de Sivrac inventa el "celerífero", al que también se llama "caballo de ruedas". Consiste en un listón de madera, terminado en una cabeza de león, de dragón o de ciervo, y montado sobre dos ruedas. No tenía articulación alguna y para las maniobras había que echar pie a tierra; esa misma rigidez hacía que todas las variaciones del terreno repercutieran en el cuerpo de su montura

DEL CELERÍFERO A LA DRAISIANA



Figura 2 Replica de un celerífero

Posteriormente, en 1813, este celerífero sufrió una gran metamorfosis, gracias a que el barón Karl Christian Ludwig Drais von Sauerbronn, de Alemania, inventó el vehículo de una sola vía, al que llamó "máquina andante", precursora de la bicicleta y la motocicleta. Drais de Sauerbronn comenzó por introducir unos resortes debajo del sillín y después creó las manillas.

Esta "máquina andante", consistía en una especie de carrito de dos ruedas, colocadas una detrás de otra. La persona se mantenía sentada sobre una pequeña montura, colocada en el centro de un pequeño marco de madera. Para moverse, empujaba alternadamente con el pie izquierdo y el derecho hacia adelante, en forma parecida al movimiento de una patineta. Con este impulso, el vehículo adquiría una velocidad casi idéntica a la de un coche. Sus brazos descansaban sobre apoyabrazos de hierro, y con las manos sostenía una vara de madera, unida a la rueda delantera, que giraba en la dirección hacia la cual quería ir el conductor.



Figura 3 Réplica de una draisiana de 1813

Este invento, estaba basado en la idea de que una persona al caminar desperdicia mucha fuerza por tener que desplazar su peso en forma alternada de un pie al otro. Drais von Sauerbronn logró crear este sencillo vehículo que le permitió al hombre evitar ese trabajo. Esta máquina, denominada "draisiana" en honor a su inventor, evolucionó rápidamente.

Veinte años más tarde, el escocés Kilkpatrick Mac Millan retomó la idea de Drais von Sauerbronn. Agregó una manivela a la izquierda y a la derecha del eje de la rueda trasera, que movía con los pies, ayudándose con largas barras.

VELOCÍPEDO

Diez años después, el alemán Philipp Heinrich Fischer colocó pedales en la rueda delantera, transformando el movimiento abrupto de golpes de los pies en uno giratorio continuo que daba al vehículo un movimiento mucho más sereno. Otra teoría dice que el inventor de los pedales fue Pierre Michaux. Esta innovación merece un nuevo bautismo, y la "draisiana" se convierte en "velocípedo".



Figura 4 Velocípedo

El francés Ernest Michaux creó la primera fábrica de bicicletas, basándose en el modelo de Fischer. En Inglaterra varias fábricas iniciaron a su vez la construcción de bicicletas con propulsión en la rueda delantera; la rueda posterior era un poco más pequeña. Este tipo de bicicleta fue llamado "bonashaker" (sacudidor de huesos) debido a sus ruedas de madera, sin elásticos.

Posteriormente, los deportistas aumentaron enormemente la circunferencia de la rueda delantera y disminuyeron la de la rueda posterior. Este modelo, llamado "Penny Farthing", implicaban para el conductor pruebas casi acrobáticas, y el vehículo alcanzaba altas velocidades.

El inglés H. J. Lawson solucionó el problema del tamaño, disminuyéndolo y haciéndolo al mismo tiempo más veloz. Llevó la manivela y los pedales al centro, entre las ruedas delantera y trasera. El suizo Hans Renold inventó la cadena, que posibilita transmitir la fuerza generada por las piernas del ciclista de la rueda dentada del centro (plato) a una más pequeña ubicada en el eje posterior (piñón). Otros inventores agregaron los rayos de alambres, el asiento con suspensión, el freno de contrapedal, el cambio de velocidades y la rueda libre, con esto la bicicleta alcanzó su diseño actual.

LAS LLANTAS

El desarrollo de una buena llanta, se debió al escocés John Boyd Dunlop, quien las construyó para que su hijo pudiese ganar una carrera a sus compañeros. El niño se quejó de los duros golpes que recibía al andar en ese vehículo. Dunlop sacó entonces dos trozos de goma de jardinero, los unió en forma de anillo, bombeó aire en su interior y luego los sujetó en la rueda posterior. Así, su hijo ganó la carrera.

Posteriormente Dunlop patentó su invento, y así la bicicleta terminó de conformarse, siendo uno de los transportes más populares del mundo.

OTROS MODELOS

A lo largo del tiempo fueron apareciendo otros modelos de bicicletas tales como:
Humber: La bicicleta Humber para señoras salió al mercado en 1905. En vez del cuadro romboidal de las bicicletas para hombres, las de señoras tenían una estructura abierta acorde con los vestidos largos de la época.

Bicicleta plegable: Diseñada en 1965 por Alex Moulton, esta bicicleta se destaca por lo sencillo que resulta transportarla y guardarla. La innovadora suspensión en sus dos ruedas contribuyó a que fuera fácil de manejar además de cómoda.

Bicicleta de carreras: Este tipo de bicicletas tiene como principal característica su diseño aerodinámico para el ciclismo de competición. Con su evolución se introdujo el manillar en caída, que reduce la resistencia al aire del cuerpo. La posición aerodinámica aumenta al subir el sillín, cosa que suelen hacer los ciclistas profesionales.

Mountain bike: La bicicleta de montaña o todo terreno fue desarrollada durante la década de los setenta, y se caracteriza por ser más liviana y tener cambios adaptados, muy útil para usar en terrenos escabrosos, como los de las montañas.

Bicicross: Es una pequeña bicicleta con ruedas de 20 pulgadas, sin suspensión y muy maniobrable, que nació en los Estados Unidos en 1972. El bicicross se ha convertido en la actualidad en una disciplina deportiva completamente diferenciada.

Tándem: La bicicleta tándem es una bicicleta de dos plazas. Las dos personas que se suben a la misma deben pedalear para avanzar. Un tándem es una bicicleta normal y corriente, a la que se une un sillín, un manubrio y unos pedales. La persona que va en la parte delantera es la que pone los cambios, frena y maniobra. La transmisión entre la parte delantera y trasera está sincronizada; esto significa que la cadencia es la misma para los dos. ^[1]

Actualmente, decenas de compañías como ZAP power systems, Wilderness Energy Systems research, Electric Cycle Argentina S.A. entre muchas otras, ofrecen sus productos y servicios en materia de transporte auto sustentable, proporcionando al consumidor paquetes de conversión para este tipo de vehículos, sistemas de propulsión mecánicos, electromecánicos y de combustión interna. Esta tecnología no está aún al alcance de todos, por su costo o por la distancia a la que se encuentran los distribuidores, entre otros factores y dado que la mayoría de las emisiones contaminantes en el tercer mundo son provocadas por la quema de combustibles fósiles, el uso de vehículo eléctricos o híbridos es una muy buena solución al problema de la contaminación ambiental. ^[3]

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es caracterizar el rendimiento de una bicicleta a la que se le acopló un motor eléctrico. El motor (DC tipo brushless) será alimentado permanentemente con un juego de baterías plomo-ácido. Las baterías serán recargadas mediante un mini generador de corriente directa y un juego de paneles solares que aprovecharán la energía radiante del sol que haya disponible mientras se opera la bicicleta.

Un sistema electrónico formado principalmente por OPAM'S nos proporcionará un control de sobrecarga del motor y recarga de baterías conectando o desconectándolos de manera automática cuando sea necesario. Esta acción de apagado y encendido será realizada por relevadores electrónicos de bajo consumo de energía, para evitar importantes caídas de voltaje en el sistema.

Se proveerá al sistema de impulsión con un variador de velocidad y un regulador tipo muñeca (throttle) parecido a los usados por los aceleradores de motocicletas, además de un interruptor general que cortará la corriente de manera total cuando sea necesario.

Con la adición del sistema electrónico de control automático, solventamos la necesidad de algún tipo de tablero de control, el cual, además de adicionar un peso extra, podría distraer al conductor.

Se efectuarán los cálculos para determinar la potencia necesaria en el motor y se elegirá entre varias opciones de motores eléctricos en el mercado el mas conveniente al proyecto.

Finalmente, se realizará la evaluación del rendimiento de la bicicleta en diferentes condiciones para encontrar un punto óptimo de operación, esto se hará en un banco de pruebas que ayudará a evaluar la bicicleta en un solo sitio y sin necesidad de transportarla. También se harán pruebas de campo en situaciones reales. El diseño y construcción del banco de pruebas deberá de evitar perdidas de energía por fricción en sus componentes.

Las áreas de aplicación de la bicicleta eléctrica son muy variadas, a continuación se mencionarán algunas de ellas:

- 1.- Transporte de uno o dos pasajeros, donde el motor debe ser capaz de mover una carga de 150 o 160 kg.
- 2.- Uso policial (en Sudamérica ya se usan) donde el vehículo alcance sin problemas alrededor de 30 km/hr.
- 3.- Transporte de mercancías donde el motor sea capaz de desplazar 150 kg.
- 4.-Taxis ecológicos (bici taxis), los cuales toman cada vez mayor auge en México. En este caso, la capacidad del motor cambia ya que la carga a mover aumenta considerablemente.

5.- Viajes relativamente largos (alrededor de 150 km o mas) con la ayuda del usuario y el sistema de recarga auxiliar.

Para este proyecto terminal se evaluarán los puntos 1 y 5, donde se requiere transportar a un usuario con 1 peso aproximado del sistema de 100 kg en un viaje largo.

ANTECEDENTES

La evolución del transporte ha dado grandes avances tanto en forma, eficiencia, modo de propulsión y combustible utilizado, esto, a favor del medio ambiente, ya que la quema de combustibles fósiles y los vehículos de combustión arroja a la atmósfera una media de 3 kg de carbono por persona y día; esta media combina los 15 kg diarios de un norteamericano o los 4,5 kg de un español con el escaso 1,4 kg emitido por un habitante de un país no desarrollado. Los combustibles fósiles se queman casi exclusivamente para producir energía que, en el primer mundo es consumido 7 veces más por habitante que en el Tercer Mundo. Actualmente, se han desarrollado vehículos híbridos para combinar el trabajo humano con el de la máquina y así, reducir, en cierto grado, los problemas de contaminación.

Las soluciones para el medio ambiente en el ámbito de la movilidad se concretan actualmente en tres tecnologías básicas que cumplen con la necesidad de reducir las emisiones a la atmósfera del transporte terrestre.

En los vehículos eléctricos el combustible lo proporciona la electricidad almacenada en forma de energía química en acumuladores, que no liberan emisiones y tienen un gran rendimiento. Sin embargo, su autonomía es reducida. Por ello, su diseño principal se ha pensado para vehículos urbanos y la mayoría de los diseños son de capacidad reducida. Hay vehículos eléctricos puros y vehículos convencionales dotados con un sistema de tracción eléctrico.

Un análisis de mercado hecho en Estados Unidos de América sugieren una demanda de bicicletas eléctricas que crece a una razón de 100000 unidades anualmente y auspician que estas bicicletas pueden estar como primer vehículo eléctrico que se comercialice en una tasa de millones de unidades para los próximos años, aunque como un comentario personal, cabe señalar que este tipo de vehículos aún no están al alcance de todo el público, a causa del alto costo de las partes y que además, en México su comercialización no es tan abierta como en otros países.

En el mercado existen modelos comerciales, aunque en México, esta tecnología no ha sido bien desarrollada.

Poco menos comerciales y con un costo mayor, son los vehículos eléctricos solares, mayormente utilizados en competencias. Estas competencias se llevan a cabo en localidades donde la radiación solar es alta, aumentando la eficiencia de estos vehículos. Las aplicaciones más comunes para la conversión de energía solar fotovoltaica son de tipo estacionario, donde el equipo a operar o energizar se encuentra fijo y no tiene movimiento, esto hace que los vehículos de competencia sean de un costo elevado y utilizados por lo general para entretenimiento y no para transporte.

La energía solar fotovoltaica es, en términos sencillos, la utilización de la luz solar para producir electricidad.

La implementación de paneles solares fotovoltaicos en vehículos tiene ciertas desventajas. A causa de la ineficiencia de los paneles para poder generar una cierta cantidad de energía, es necesaria un área de captación mayor.



Figura 5 Modelo de bicicleta solar EE.UU

ELEMENTOS DE POTENCIA Y CONTROL

El presente proyecto propone algunas soluciones y mejoras a un medio de transporte popular y en crecimiento como lo es la bicicleta. Para esto, se debe de dotar al vehículo de ciertos atributos de potencia y de control de los cuales se dará una breve reseña de cada uno de estos sistemas.

Para comenzar, la pieza fundamental es un motor eléctrico de corriente directa sin escobillas comercialmente llamado “brushless”:

Se realizará una breve descripción del motor de corriente continua sin escobillas, comparándolo con su antecesor y mucho más conocido motor de continua. Se pone el acento en los motores de pequeña potencia, ya que disponen de un campo de aplicación emergente. Prueba de ello es su reciente introducción en algunos electrodomésticos, como acondicionadores de aire, lavadoras o frigoríficos y también en automoción en equipos auxiliares. Sus mejores argumentos son la ausencia de mantenimiento, la posibilidad de control de velocidad y un elevado rendimiento.



Figura 6 Varios modelos de motores eléctricos de corriente directa y sus controladores

ELEMENTOS DE POTENCIA (MOTOR)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En un motor de corriente continua con escobillas, se obtiene par motor gracias a la interacción del campo magnético inductor, estacionario, y la intensidad del arrollamiento inducido giratorio. Campo y corriente eléctrica se mantienen siempre en la misma posición relativa gracias al mecanismo de conmutación formado por el colector de delgas y las escobillas. En motores de pequeña potencia suele obtenerse la excitación mediante imanes permanentes. En este caso, solo se dispone de dos terminales para el control y la alimentación del motor.

El hecho de tener control directo sobre el par mediante la intensidad de inducido, y sobre la velocidad a través de la tensión, convierte a este motor en el modelo de referencia para la regulación de velocidad. No obstante, la alimentación del inducido a través de las escobillas y el colector presenta muchos inconvenientes, hasta el punto que en algunos casos se hace inviable su utilización.

El motor que nos ocupa es similar al de corriente continua con escobillas, con las siguientes diferencias:

- a) La conmutación se realiza de forma electrónica en lugar de mecánica.
- b) Los imanes permanentes van alojados en el rotor en lugar de en el estator.
- c) Las bobinas van alojadas en el estator, constituyendo un devanado monofásico o polifásico.

Su funcionamiento se basa en la alimentación secuencial de cada una de las fases del estator de forma sincronizada con el movimiento del rotor. De esta forma, los imanes permanentes siguen el movimiento del campo magnético estático, cuyo desplazamiento depende a su vez del giro del rotor.

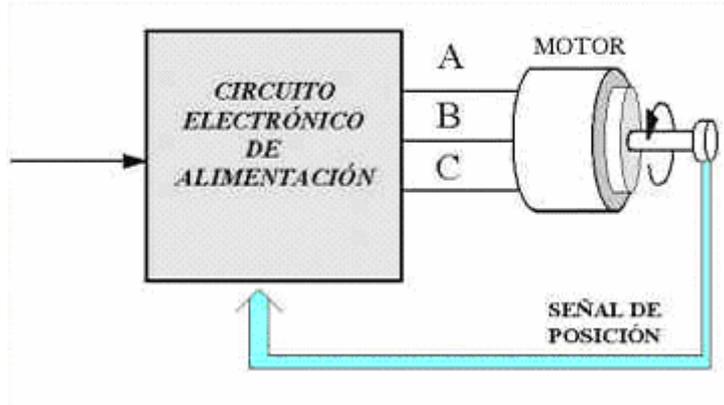


Figura 7 Esquema de funcionamiento de un motor de corriente continua sin escobillas

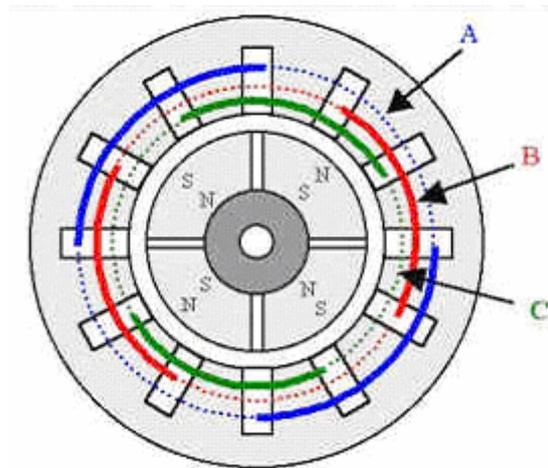


Figura 8 Aspecto de un motor de corriente continua sin escobillas trifásico

La figura 9 muestra la configuración más empleada de la etapa de potencia. Se compone de seis transistores de potencia MOSFETs o IGBTs, dependiendo de la tensión de alimentación. Para la regulación de velocidad se emplea la técnica PWM con portadora de alta frecuencia.

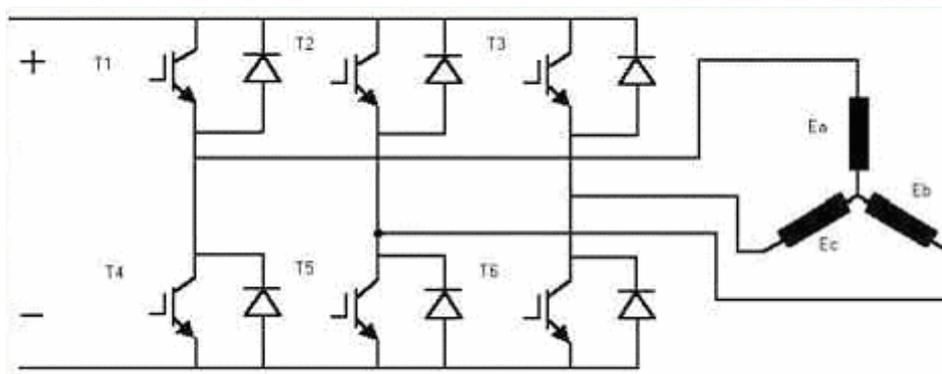


Figura 9 Inversor trifásico en puente con IGBTs

Una primera clasificación de estos motores se realiza en base a la forma de la onda de tensión inducida y los divide en dos grupos. En el primero se encuentran aquellos cuya

onda de tensión inducida es senoidal, también llamados "Motores Síncronos de Imanes Permanentes". Son motores de altas prestaciones y se emplean sobre todo en servosistemas. En un segundo grupo se incluyen los de onda trapezoidal, conocidos como "Motores de Corriente Continua sin Escobillas, o "BRUSHLESS DC". Suelen ser motores de pequeña potencia y de prestaciones dinámicas no muy exigentes.

CONTROL DEL MOTOR DE F.E.M. SENOIDAL

Los motores de f.e.m. senoidal han de ser alimentados con un sistema de tensiones e intensidades también senoidales, y sincronizadas en todo momento con la f.e.m. inducida. El control de estos motores es complejo y se recurre a técnicas similares a las empleadas en los motores asíncronos, incluidas las técnicas de control vectorial.

CONTROL DEL MOTOR DE F.E.M. TRAPEZOIDAL

La figura 10 muestra las ondas de tensión y de intensidad correspondiente a una fase para un motor de este tipo. En la figura 1.7 se han dibujado las tres tensiones para un motor trifásico y los transistores que intervienen en cada intervalo de funcionamiento. Hay que destacar que la conducción se realiza siempre a través de dos transistores; uno de los del grupo superior (T1, T2 o T3) y otro de los del inferior (T4, T5 o T6), de forma que siempre hay una bobina desactivada.

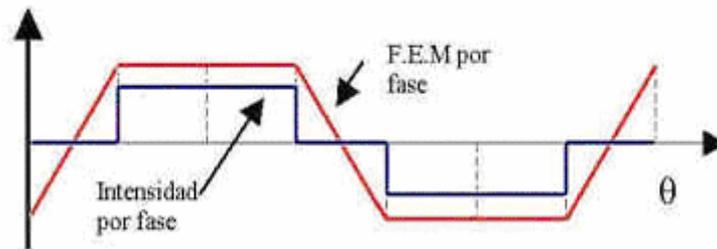


Figura 10 Formas básicas de tensión e intensidad de un motor de CC sin escobillas

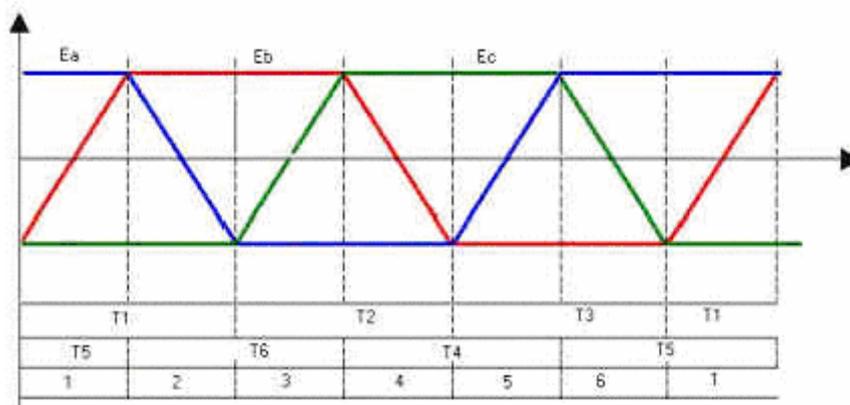


Figura 11 Ondas de f.e.m. e intervalos de conducción

La eliminación de las escobillas conlleva la necesidad de un circuito electrónico encargado de alimentar las distintas fases en función de la posición del eje y la de un sistema de sensores, tres por lo general, para detectar la posición del mismo. Estos sensores suelen ser del tipo Hall, sensibles al campo magnético, colocados en el

devanado del estator y cerca de los imanes del rotor. La existencia de estos elementos presenta algunos inconvenientes, como son la menor fiabilidad y la complejidad de montaje de los sensores y de su cableado, lo que encarece la fabricación del motor. Por todo ello, en los últimos años se han desarrollado sistemas de detección “sin sensores” para aquellas aplicaciones donde no se requiere par motor a muy baja velocidad. Las técnicas se basan en determinar la posición rotórica a partir de las tensiones inducidas en los devanados del motor. Como quiera que en la fase de arranque no se dispone de tensiones generadas por el movimiento, se recurre a distintas técnicas de puesta en marcha dependiendo de la aplicación; todas ellas basadas en microcontroladores o en circuitos integrados específicos.

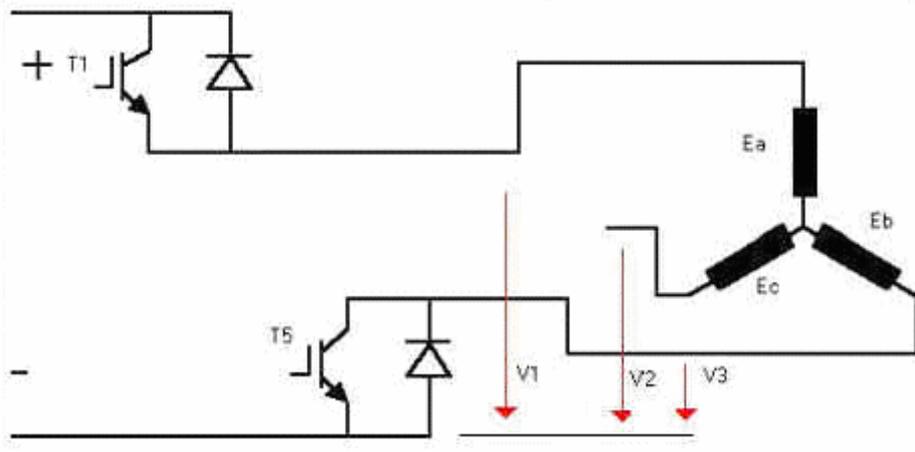


Figura 12 Sistema de tensiones utilizadas para determinar la posición rotórica en un motor de CC sin escobillas sin sensores de posición.

TENDENCIAS

El auge de estos motores en los últimos años no se debe tanto al desarrollo de nuevas técnicas como al abaratamiento de los componentes electrónicos, tanto de control como de potencia.

También, se han beneficiado de la reducción de precios de los imanes permanentes de altas prestaciones a base de tierras raras como el Neodimio el Samario o el cadmio (Nd-Fe-B, y Sm-Co). Las características magnéticas de estos imanes permiten reducir de forma significativa el peso de los motores en comparación con los que incorporan los imanes convencionales de ferrita.

La figura 13 muestra una comparativa entre los imanes de ferrita y los de Nd-Fe-B, tanto desde el punto de vista de sus características magnéticas como de las dimensiones de sus motores.

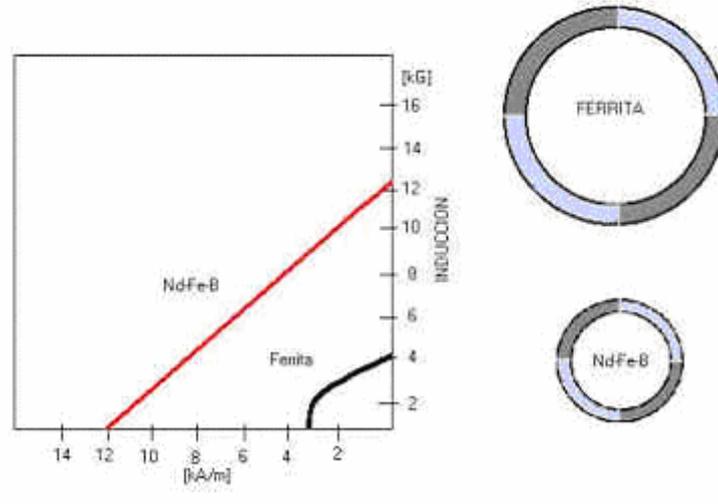


Figura 13 Gráficas comparativas entre imanes de ferrita y de neodimio. Los imanes del rotor corresponden a un motor de igual potencia

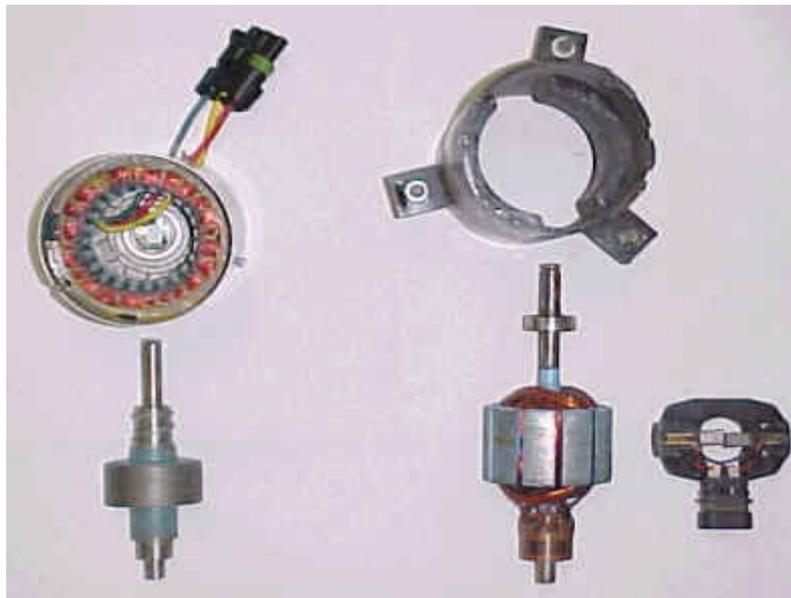


Figura 14 Comparativa entre motor de corriente continua sin escobillas y motor de corriente continua convencional

SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Otro de los atributos a instalar en la bicicleta son los paneles solares fotovoltaicos para recarga del sistema.

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de la luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra. Las aplicaciones de ésta son:

Directa: Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un captador solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

Térmica: Se denomina "térmica" la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, etc., son aplicaciones térmicas.

Fotovoltaica: Se llama "fotovoltaica" la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad.

Los Sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la luz solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente con silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, el mismo material semiconductor usado en las computadoras. Cuando el silicio se contamina o dopa con otros materiales de ciertas características, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar

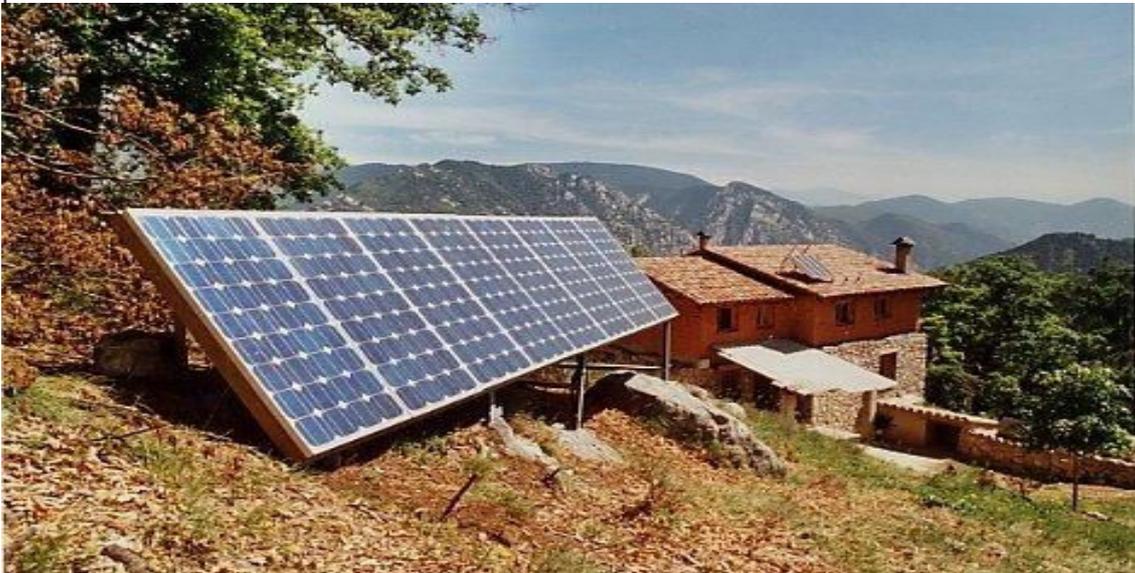


Figura 15 Sistema fotovoltaico en campo abierto

Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio; este es conocido como el efecto fotovoltaico y produce una corriente eléctrica directa. Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años.

La conversión directa de la parte visible del espectro solar es, quizá, la vía más ordenada y estética de todas las que existen para el aprovechamiento de la energía solar. Desafortunadamente esta tecnología no se ha desarrollado por completo en México. Si bien los módulos fotovoltaicos son relativamente simples, su fabricación requiere de tecnología sofisticada que solamente está disponible en algunos países como Estados Unidos, Alemania, Japón y España entre otros.

Las celdas solares fueron comercializadas inicialmente en 1955. Las investigaciones iniciales en este campo se enfocaron al desarrollo de productos para aplicaciones espaciales, siendo su primera utilización exitosa en los satélites artificiales; sus principales características (simplicidad, bajo peso, eficiencia, confiabilidad y ausencia de partes móviles) las hicieron ideales para el suministro de energía en el espacio exterior. A la fecha las celdas que han alcanzado mayor grado de desarrollo son las de

silicio cristalino, tecnología que predomina en el mercado mundial debido a su madurez, confiabilidad en su aplicación y sobre todo, a su vida útil que va de los 20 a los 30 años. Por otra parte las celdas de película delgada, entre ellas el silicio amorfo, han alcanzado cierto grado de popularidad debido a su bajo costo, sin embargo su baja durabilidad, debido a la degradación, las sitúa por debajo de las celdas cristalinas.

Desde principios de la década de los años 80, cuando comenzaron a establecerse compañías fotovoltaicas en los Estados Unidos, el National Renewable Energy Laboratory (N.R.E.L) estableció los métodos y estándares de prueba y funcionamiento para los módulos fotovoltaicos. Estas actividades ayudaron a las compañías a reducir sus costos y mejorar funcionamiento, eficiencia y confiabilidad.

En México, el Centro de Investigaciones Avanzadas del IPN ha sido pionero del desarrollo fotovoltaico desde hace más de 30 años, período en el que se han fabricado tanto celdas de silicio cristalino como módulos fotovoltaicos a nivel de planta piloto. No obstante, no se ha llegado a la fabricación en serie, más bien el objetivo ha sido demostrar la disponibilidad tecnológica para la producción de celdas con vistas a su industrialización; sin embargo, la tecnología utilizada es prácticamente artesanal y los elementos de producción limitados, aún cuando varios módulos han sido instalados, principalmente por dependencias gubernamentales. Otras Instituciones como el Laboratorio de Energía Solar y el Instituto de Física, ambas de la UNAM, han desarrollado cierta actividad, principalmente en la tecnología de películas delgadas, probando diferentes técnicas de deposición y analizando varios compuestos. A la fecha no han logrado obtener prototipos, motivo por el que se puede aseverar que el desarrollo fotovoltaico en México es realmente incipiente.

Respecto a los equipos periféricos y de control utilizados en los sistemas fotovoltaicos que se han instalado en México, se puede decir que la tecnología actual está completamente asimilada. Existen empresas nacionales (Condumex, ahora IEM, Grupo PIM y ACUMEX entre otras) que fabrican comercialmente controladores, centros de carga y demás componentes electrónicos para diferentes capacidades y condiciones de operación. Análogamente a los controladores de carga, la tecnología de los inversores de corriente está ampliamente asimilada. En México la mayoría de las unidades de auto transporte de primera clase utilizan inversores de fabricación nacional para los diversos servicios que brindan a bordo. La actividad en los centros de investigación mexicanos es prácticamente nula en este aspecto, dado que esta fracción de la tecnología fotovoltaica no es vanguardista.

ENERGÍA SOLAR. RECURSO

En 1975 el Instituto de Ingeniería de la UNAM generó la primera versión de los mapas de irradiación global diaria promedio mensual para México, utilizando datos de insolación de 54 estaciones meteorológicas del Sistema Meteorológico Nacional (SMN). Posteriormente, mediante la ampliación de la base de datos proporcionada por el SMN, se publicó la actualización de dichos mapas de irradiación. El modelo aplicado por Rafael Almanza, investigador del Instituto de Ingeniería, tiene desviaciones menores del 10 por ciento y fue desarrollado en la India, situación que hizo más confiable su aplicación en México, ya que tanto la latitud, como los climas en ambos países son semejantes. Actualmente este modelo es el más consultado en México para estimar las cantidades totales de radiación diarias sobre superficies horizontales.

PRINCIPIOS DE OPERACION Y CARACTERISTICAS

EFEECTO FOTOVOLTAICO

Existen ciertos materiales que al absorber un determinado tipo de radiación electromagnética generan en su interior pares de cargas positivas y negativas. Si la radiación electromagnética es la solar y el material es un semiconductor tal como el silicio, Si, los pares de carga son electrones (e-) y huecos (h+) que una vez producidos se mueven aleatoria mente en el volumen del sólido. Si no hay ningún condicionante externo ni interno, las cargas de signos opuestos se recombinan neutralizándose mutuamente. Por el contrario, si mediante algún procedimiento se crea en el interior del material un campo eléctrico permanente, las cargas positivas y negativas serán separadas por él. Esta separación conduce al establecimiento de una diferencia de potencial entre dos zonas del material que, si son conectadas entre sí mediante un circuito externo al mismo tiempo que la radiación electromagnética incide sobre el material, darán origen a una corriente eléctrica que recorrerá el circuito externo. Este fenómeno se conoce como efecto fotovoltaico y es el fundamento en el que se basan las celdas fotovoltaicas.

LA CELDA FOTOVOLTAICA

La descripción de la celda fotovoltaica se basa en las propiedades del Si monocristalino, aunque lo que se expone es válido para todos los tipos de foto celdas. Partiendo de una oblea de Si (disco muy delgado) se produce una célula solar una vez que se ha creado el campo eléctrico interno ya citado y después de preparar los contactos eléctricos adecuados. El campo eléctrico debe ser superficial para que la radiación solar llegue fácilmente hasta él, de manera que la unión rectificadora se pone muy próxima a la cara que enfrenta el sol. Por otro lado, los contactos eléctricos que se hacen en ambas caras de la oblea son de geometría y características especiales.

RENDIMIENTO DEL PROCESO FOTOVOLTAICO

El rendimiento de operación de una célula solar se define como el cociente entre la energía eléctrica producida y la energía solar interceptada por su superficie. Cuando se optimiza la carga que la célula debe alimentar el rendimiento es máximo. Existen ciertos factores que influyen en mayor o menor medida en el rendimiento de una célula solar. Estos pueden ser de origen interno o externo como características del material, espesor de la oblea, superficie activa, geometría de los contactos, etc. También pueden ser factores ambientales como temperatura de operación y composición espectral de la radiación. Al aumentar la temperatura por encima del ambiente (40-45 °C), el rendimiento disminuye, razón por la que sería conveniente refrigerar las celdas solares.

GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA

La siguiente modificación a la bicicleta es la instalación de un generador de corriente directa para bicicletas (dínamo).

Su principio de funcionamiento es el mismo que el de los generadores eléctricos, donde se induce un voltaje al girar el rotor y cortar las líneas de energía del estator, que en este caso es un imán permanente.

Un sistema parecido, pero en mayor escala se puede observar en los automóviles donde la recarga de batería se hace por medio de un generador o un alternador, este elemento trabaja mientras el motor del automóvil este en funcionamiento, ya que por medio de un sistema de bandas y poleas le es transmitida la potencia desde el motor.

ELEMENTOS DE CONTROL AUTOMÁTICO

La última modificación serán atributos electrónicos de control utilizando OPAM'S o amplificadores operacionales.

Algunos de estos controles automáticos serán para controlar la recarga y proteger al sistema de posibles sobrecargas y así evitar un daño permanente a algunos de sus sistemas.

El concepto original del AO (amplificador operacional) procede del campo de las computadoras analógicas, en las que comenzaron a usarse técnicas operacionales en una época tan temprana como en los años 40. El nombre de amplificador operacional deriva del concepto de un amplificador dc (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados.

Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas sólo por estos elementos de realimentación. De esta forma, el mismo amplificador era capaz de realizar diversas operaciones, y el desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al nacimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

Los primeros amplificadores operacionales usaban el componente básico de su tiempo: la válvula de vacío. El uso generalizado de los AOs no comenzó realmente hasta los años 60, cuando empezaron a aplicarse las técnicas de estado sólido al diseño de circuitos amplificadores operacionales, fabricándose módulos que realizaban la circuitería interna del amplificador operacional mediante diseño discreto de estado sólido. Entonces, a mediados de los 60, se introdujeron los primeros amplificadores operacionales de circuito integrado. En unos pocos años los amplificadores operacionales integrados se convirtieron en una herramienta estándar de diseño, abarcando aplicaciones mucho más allá del ámbito original de las computadoras analógicas.

Con la posibilidad de producción en masa que las técnicas de fabricación de circuitos integrados proporcionan, los amplificadores operacionales integrados estuvieron disponibles en grandes cantidades, lo que, a su vez contribuyó a rebajar su coste. Hoy en día el precio de un amplificador operacional integrado de propósito general, con una ganancia de 100 dB, una tensión offset de entrada de 1 mV, una corriente de entrada de 100 nA. Y un ancho de banda de 1 MHz. es inferior a los \$10.00. El amplificador, que era un sistema formado antiguamente por muchos componentes discretos, ha evolucionado para convertirse en un componente discreto él mismo, una realidad que ha cambiado por completo el panorama del diseño de circuitos lineales.

Con componentes de ganancia altamente sofisticados disponibles al precio de los componentes pasivos, el diseño mediante componentes activos discretos se ha convertido en una pérdida de tiempo y de dinero para la mayoría de las aplicaciones DC y de baja frecuencia. Claramente, el amplificador operacional integrado ha redefinido las "reglas básicas" de los circuitos electrónicos acercando el diseño de

circuitos al de sistemas. Lo que ahora debemos de hacer es conocer bien los AOs, cómo funcionan, cuáles son sus principios básicos y estudiar sus aplicaciones.

PRINCIPIOS BASICOS DE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

Los fundamentos básicos del amplificador operacional ideal son relativamente fáciles. Quizás, lo mejor para entender el amplificador operacional ideal es olvidar todos los pensamientos convencionales sobre los componentes de los amplificadores, transistores, tubos u otros cualesquiera. En lugar de pensar en ellos, piense en términos generales y considere el amplificador como una caja con sus terminales de entrada y salida. Trataremos, entonces, el amplificador en ese sentido ideal, e ignoraremos qué hay dentro de la caja.

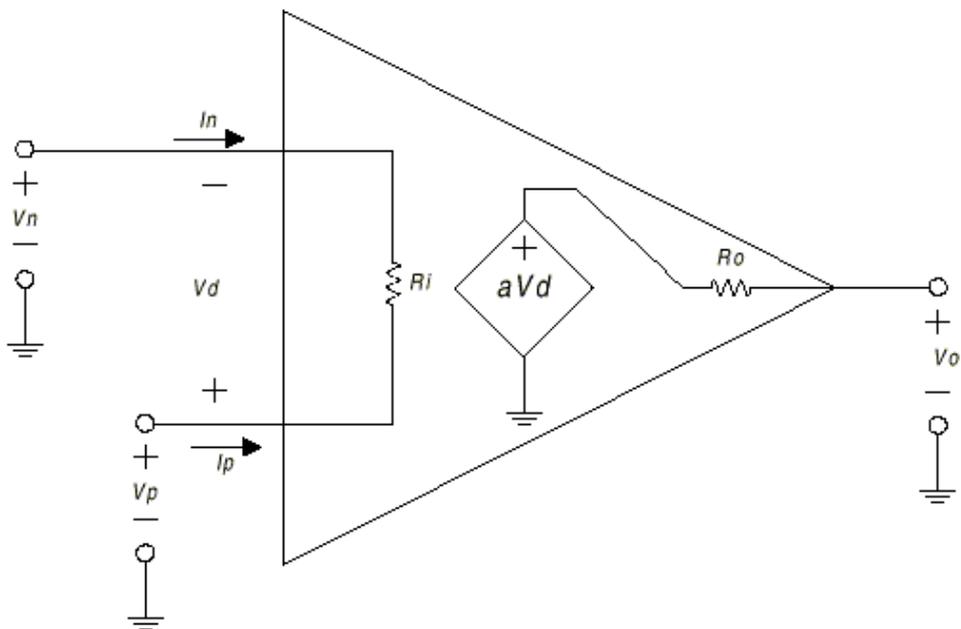


Figura 16 Esquema general de un OPAM

$$V_0 = a V_d \quad [1]$$

$$a = \infty \quad [2]$$

$$R_i = \text{infinito} \quad [3]$$

$$R_o = 0 \quad [4]$$

$$BW \text{ (ancho de banda)} = \text{infinito} \quad [5]$$

$$V_0 = 0 \text{ si } V_d = 0 \quad [6]$$

En la figura 16 se muestra un amplificador idealizado. Es un dispositivo de acople directo con entrada diferencial, y un único terminal de salida. El amplificador sólo responde a la diferencia de tensión entre los dos terminales de entrada, no a su potencial común. Una señal positiva en la entrada inversora (-), produce una señal

negativa a la salida, mientras que la misma señal en la entrada no inversora (+) produce una señal positiva en la salida. Con una tensión de entrada diferencial, V_d , la tensión de salida, V_o , será $a V_d$, donde a es la ganancia del amplificador. Ambos terminales de entrada del amplificador se utilizarán siempre independientemente de la aplicación. La señal de salida es de un sólo terminal y está referida a masa, por consiguiente, se utilizan tensiones de alimentación bipolares (\pm)

Teniendo en mente estas funciones de la entrada y salida, podemos definir ahora las propiedades del amplificador ideal. Son las siguientes:

1.-La ganancia de tensión es infinita:

$$a = \infty \quad [7]$$

2. La resistencia de entrada es infinita:

$$R_i = \infty \quad [8]$$

3. La resistencia de salida es cero:

$$R_o = 0 \quad [10]$$

4. El ancho de banda es infinito:

$$BW = \infty \quad [11]$$

5. La tensión offset de entrada es cero:

$$V_0 = 0 \text{ si } V_d = 0 \quad [12]$$

A partir de estas características del AO, podemos deducir otras dos importantes propiedades adicionales. Puesto que, la ganancia en tensión es infinita, cualquier señal de salida que se desarrolle será el resultado de una señal de entrada infinitesimalmente pequeña. Luego, en resumen:

La tensión de entrada diferencial es nula.

También, si la resistencia de entrada es infinita. No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada.

Estas dos propiedades pueden considerarse como axiomas, y se emplearán repetidamente en el análisis y diseño del circuito del AO. Una vez entendidas estas propiedades, se puede, lógicamente, deducir el funcionamiento de casi todos los circuitos amplificadores operacionales.

VARIADORES DE VELOCIDAD

Los Variadores de Velocidad o "Drives", son dispositivos electrónicos destinados al control de motores de todo tipo. Se dividen en tres familias fundamentales: Drives de Corriente Alterna (CA), Drives de Corriente Continua (CC) y Servo Drives.

Se componen, básicamente, de un circuito rectificador/inversor de potencia, que convierte la alimentación normal de la red trifásica, en la alimentación requerida por el

motor. Hace algunos años, la única posibilidad de variación de velocidad se hallaba en los motores de CC pero, en la actualidad, es cada vez mayor el uso de Drives para motores comunes de CA. La diferencia constructiva y funcional radica, principalmente, en el circuito electrónico de control. En términos generales, con un Drive pueden obtenerse las siguientes prestaciones:

Protección térmica integral y contra corto-circuitos, control de límite de corriente, control de torque, control de 1/1000 y hasta 6 veces la velocidad nominal, etc. (estas variantes dependen, además, de cada marca y modelo).

En general, un motor de inducción puede ser alimentado a partir de un variador de velocidad sin afectar significativamente al funcionamiento. Sin embargo, debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones (figura 17).

Hasta 50 Hz, el máximo par disponible en el motor se mantiene prácticamente constante, lo que significa que la potencia va incrementándose desde 0 Hz hasta 50 Hz.

Por encima de 50 Hz, el par disponible disminuye, debido a la reducción de la corriente magnetizante y el consiguiente debilitamiento del campo.

A bajas velocidades, la efectividad de la refrigeración disminuye, de forma que el motor no puede proporcionar el par nominal a bajas velocidades, a no ser que se prevea una refrigeración adicional. La figura 18 muestra un ejemplo de esta pérdida de par disponible.

Antes de decidir el tamaño del motor y del variador requerido, es importante comprender las características par-velocidad para cada carga en particular.

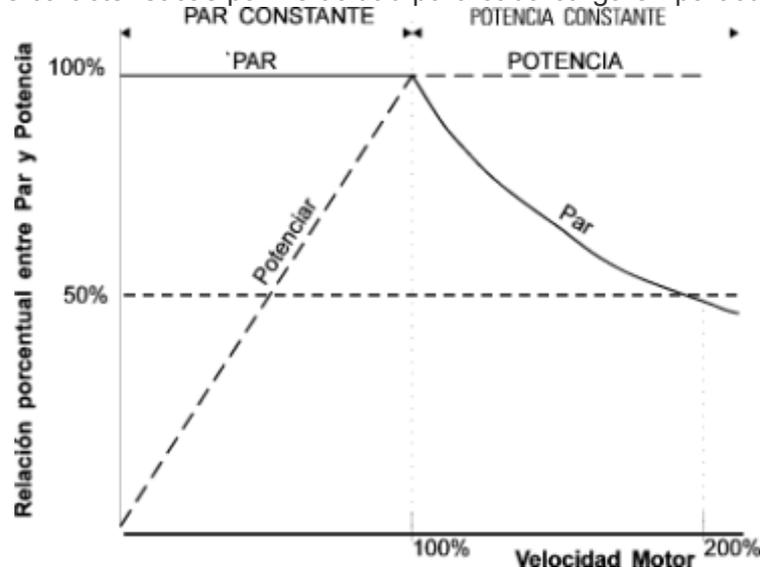


Figura 17 Curvas par y potencia frente velocidad

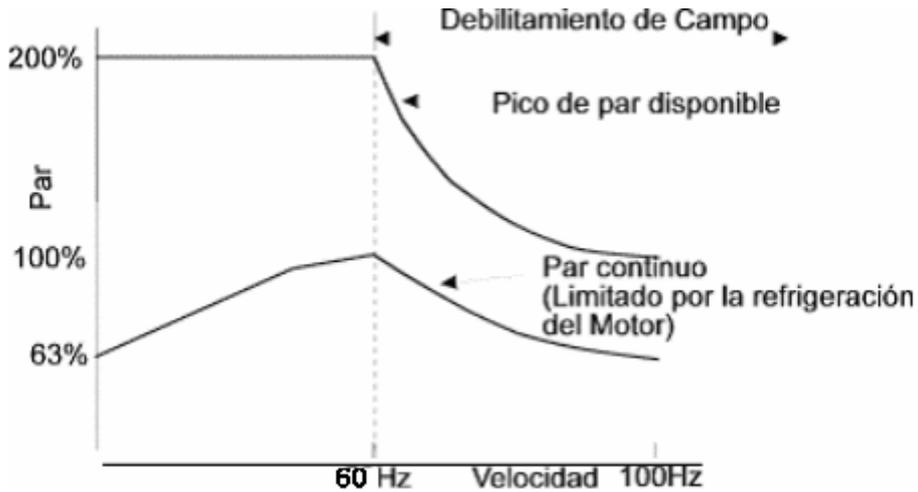


Figura 18 Pérdida de par debida a la refrigeración del motor

Todos estos atributos serán utilizados y analizados a lo largo del desarrollo del presente proyecto y así conjuntar un sistema autosuficiente y de mayor rendimiento que los vehículos comerciales similares.

En lo que se refiere a la característica par -velocidad, podemos distinguir cuatro tipos básicos de carga.

La figura 19 ilustra una carga de potencia constante. El par demandado por la carga aumenta a medida que la velocidad disminuye, de forma que el producto entre el par y la velocidad (por lo tanto, la potencia) permanece constante. Ejemplos: molinos y tornos.

La figura 20 muestra una carga de par constante. En este tipo de carga, el par permanece constante a cualquier velocidad. Es una característica muy común: cintas transportadoras, grúas, prensas de imprenta, etc. En este tipo de cargas deben tomarse precauciones cuando se trabaja durante largos periodos de tiempo a bajas velocidades.

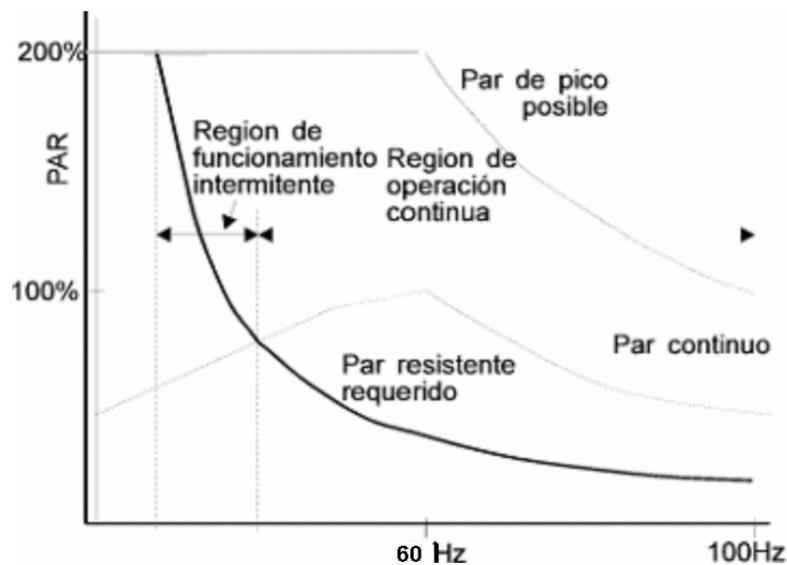


Figura 19 Carga a potencia constante

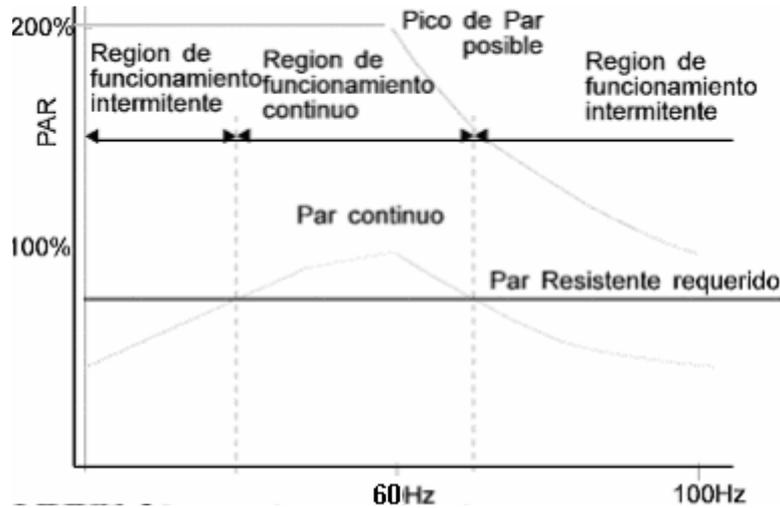


Figura 20 Carga a par constante

La figura 21 ilustra una carga para la que el par es proporcional a la velocidad. Ejemplos: mezcladoras, bombas de desplazamiento positivo, compresores, etc. Este tipo de cargas no suelen presentar problemas de calentamiento, y no requieren incrementos de tensión inicial.

La figura 22 muestra una carga en la que el par es proporcional al cuadrado de la velocidad. Este tipo de par resistente es muy común, y corresponde a bombas centrífugas y ventiladores. Más del 70% de las cargas accionadas con motores controlados por variadores de velocidad corresponden a este tipo. El par requerido a bajas velocidades es pequeño.

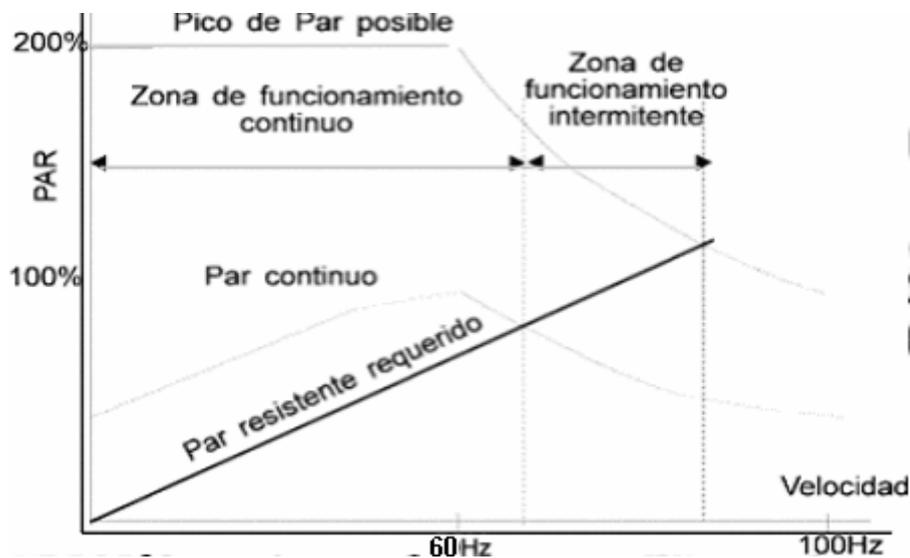


Figura 21 Par proporcional a la velocidad

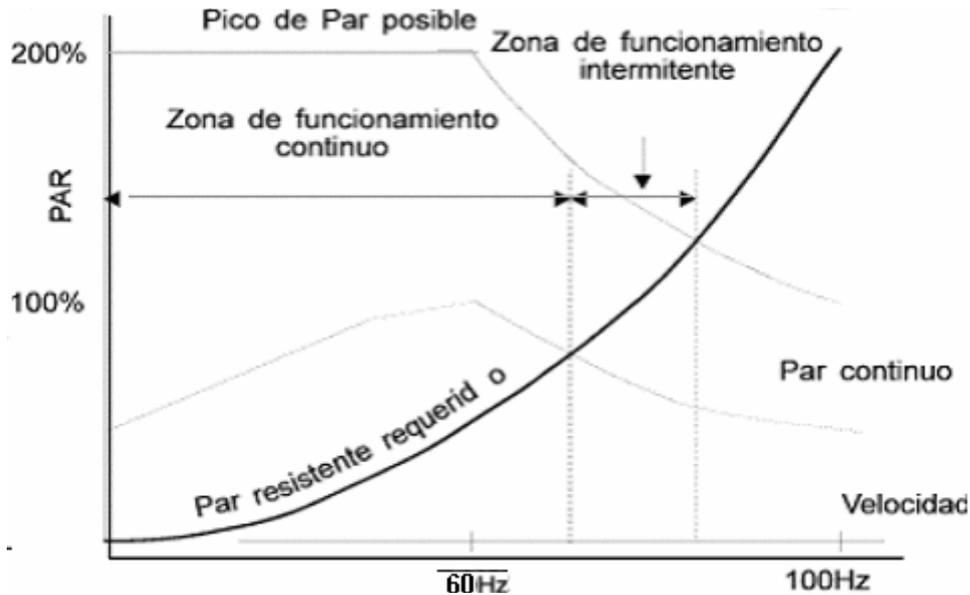


Figura 22 Par proporcional al cuadrado de la velocidad

Los cuatro tipos básicos de par resistente que hemos visto son una simplificación de los pares de carga reales. Una carga puede modelizarse como uno de estos pares ideales, o bien la asociación de dos o más de ellos. Para lograr la utilización idónea del motor, es necesario diseñar el sistema de manera que gire lo más cerca posible de la velocidad nominal (correspondiente a 60 Hz), en condiciones normales. Para asegurar esto, hay que seleccionar el número de polos y la relación de transmisión adecuados.

Velocidades significativamente inferiores a la nominal suponen una disminución de la potencia que puede desarrollar el motor y, dependiendo del tipo de carga, pueden originar sobrecalentamientos. Velocidades superiores a la nominal reducen el par disponible, y también pueden producir sobrecalentamientos, así como un desgaste superior.

CAPITULO 2

ANÁLISIS DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN

Para realizar un análisis general de todas las fuerzas que actúan sobre nuestro sistema, se propone analizar una bicicleta en condiciones normales, en el instante en el cual se encuentra ascendiendo una pendiente como se muestra en la figura 23:

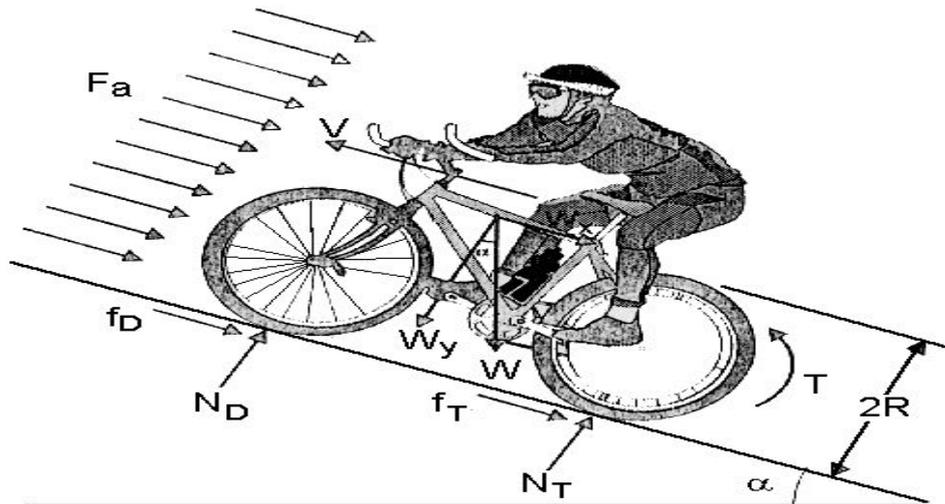


Figura 23 Fuerzas que actúan sobre el vehículo en movimiento

Para determinar la potencia necesaria para lograr el movimiento de la bicicleta se deben considerar todas las fuerzas que intervienen en el sistema, esto es:

Fuerza neta para mover la bicicleta = Σ Fuerzas que se oponen al movimiento de la bicicleta + Σ Fuerza necesaria para alcanzar la velocidad de diseño

Para comenzar, definiremos la fuerza generada por la oposición del viento que es conocida como fuerza de arrastre cuya expresión matemática esta dada por la siguiente ecuación:

$$F_a = 0.5\rho A T V^2 C_a \quad [13]$$

La fuerza total de fricción ejercida sobre las llantas se determina descomponiendo la fuerza ejercida por el peso en los ejes indicados:

$$W_x = W \sin \alpha \quad [14]$$

$$W_y = W \cos \alpha \quad [15]$$

Por sumatoria de fuerzas en la dirección del eje y tenemos:

$$N_D + N_T = W_y \quad [16]$$

Por lo cual tenemos:

$$f_D + f_T = \mu N_D + \mu N_T \quad [17]$$

La fuerza de fricción total creada por el contacto de los neumáticos con el piso es de:

$$F_F = \mu WY \quad [18]$$

Finalmente, la fuerza necesaria para que el vehículo alcance la velocidad de 25 kph, se expresa mediante la segunda ley de Newton:

$$F_{mov} = ma \quad [19]$$

El par torsor ejercido por la llanta trasera de la bicicleta queda definido por la siguiente expresión:

$$T = (F_a + F_F + Wx + F_{mov})R \quad [20]$$

La potencia esta dada por :

$$P = T\omega \quad [21]$$

Si la velocidad angular se expresa en términos de la velocidad lineal, tendremos:

$$\omega = (v/R) \quad [22]$$

Sustituyendo las ecuaciones que definen el par torsor y la velocidad angular en la formula 22 tendremos:

$$P = 0.5\rho ATv^3Ca + \mu mg \cos\alpha v + mav \quad [23]$$

Esta última expresión servirá para poder calcular la potencia necesaria que necesita el vehículo y así seleccionar el motor adecuado.

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN

ANÁLISIS TEÓRICO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN

La última ecuación deducida necesita tener el valor del coeficiente de fricción, este coeficiente se encuentra en la literatura y arroja un valor de 0.2^[2]. Este valor puede variar dependiendo del grabado de la llanta y el tipo de terreno. Para nuestro caso particular se realizaron unas pruebas para determinar el coeficiente de fricción, del cual, el procedimiento utilizado se ilustra en la figura 24.

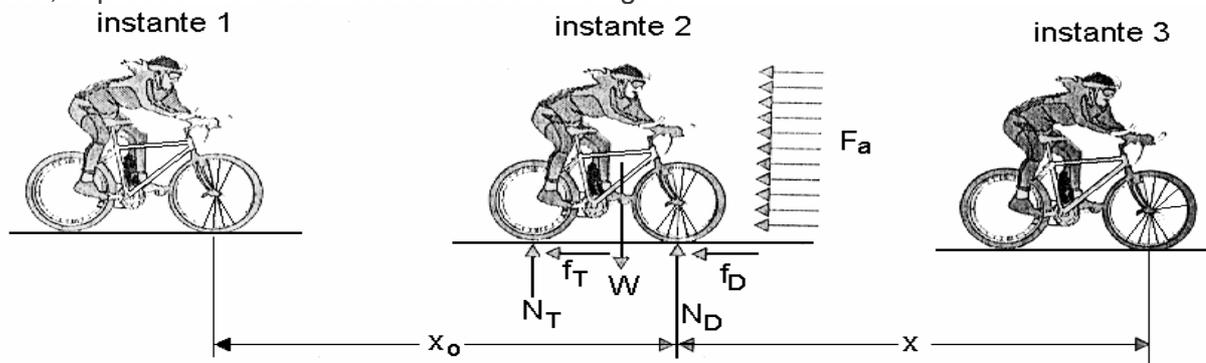


Figura 24 Diagrama de pruebas para el cálculo del coeficiente de fricción

Inicialmente, la bicicleta parte de un estado de reposo (instante 1), recorriendo una distancia X_0 prefijada, para de esta forma determinar la velocidad a la cual llega al instante 2 mediante la siguiente expresión:

$$v = \frac{X_0}{t} \quad [24]$$

Una vez alcanzada la distancia seleccionada X_0 , en el instante 2 se procede al frenado de la bicicleta, tomando la distancia X que necesitó esta para alcanzar el instante 3, en el cual la bicicleta se encuentra en estado de reposo nuevamente.

Con el dato de la distancia se obtiene la aceleración que sufre la bicicleta mediante la siguiente expresión:

$$v_f^2 = v_o^2 + 2\tilde{a}x \quad [25]$$

Si consideramos a $v_f = 0$ y despejando la aceleración obtenemos:

$$\tilde{a} = \frac{V_o^2}{2x} \quad [26]$$

Realizando un análisis de fuerzas que intervienen en este sistema, el cual se ilustra en la figura 24 en el instante señalado con el número 2 obtenemos:

$$-F_a - \mu W = -ma \quad [27]$$

Despejando el coeficiente de fricción tenemos.

$$\mu = \frac{-ma + Fa}{mg} \quad [28]$$

A partir de la ecuación 28 se puede realizar el cálculo del coeficiente de fricción, donde la distancia inicial que recorre la bicicleta y el valor de la aceleración de la gravedad son datos conocidos.

ANÁLISIS EXPERIMENTAL PARA OBTENER EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN ENTRE LA LLANTA Y EL PISO

Las condiciones ambientales en el momento de realizar las mediciones eran: superficie de pavimento seco, sin viento soplando y se establecen los siguientes valores conocidos:

*Distancia inicial $X_0 = 20$ m.

*Masa del sistema (hombre + bicicleta) = 80 kg.

*Aceleración de la gravedad $g = 9.81$ m/s².

Los datos arrojados en las mediciones se muestran en la siguiente tabla:

Tiempo(s)	Velocidad Vo (m/s)	Distancia de frenado (m)	Aceleración (m/s ²)	Fza. de arrastre (N)	Coefficiente de fricción μ
9.8630137	2.0277778	18	0.114219	0.7401389	0.0107555
10.140845	1.9722222	12.5	0.1555864	0.7001389	0.0150203
10.434783	1.9166667	13	0.1412927	0.66125	0.0136099
9.2307692	2.1666667	14.9	0.1575317	0.845	0.0150449
9.7297297	2.0555556	15	0.1408436	0.7605556	0.0134451
9.1139241	2.1944444	15	0.1605196	0.8668056	0.0153233
8.372093	2.3888889	16.9	0.1688399	1.0272222	0.0159791
8.6746988	2.3055556	16	0.1661121	0.9568056	0.0157855
9.3506494	2.1388889	14.3	0.1599596	0.8234722	0.0153182
8.0898876	2.4722222	18	0.1697745	1.1001389	0.0159869
8.7804878	2.2777778	16	0.1621335	0.9338889	0.0154074
8.6746988	2.3055556	14	0.1898424	0.9568056	0.0182045
9.7297297	2.0555556	12	0.1760545	0.7605556	0.0170343
9.7297297	2.0555556	12.5	0.1690124	0.7605556	0.0163165
9.3506494	2.1388889	15.5	0.1475757	0.8234722	0.0140558
9.7297297	2.0555556	14.7	0.143718	0.7605556	0.0137381
8.8888889	2.25	15	0.16875	0.91125	0.016109
8.7804878	2.2777778	15.5	0.1673636	0.9338889	0.0159405

Tabla 1 valores obtenidos para el cálculo del coeficiente de fricción

Obteniendo un promedio de los valores del coeficiente de fricción obtenemos de:

$$\mu = 0.01517$$

Se eligió un terreno común (asfalto) ya que el vehículo frecuentará caminos urbanos, esto no quiere decir que exclusivamente sea el terreno donde se podrá desenvolver la bicicleta, pero si el mas ideal.

Las figuras 25 y 26 muestra el tipo de grabado de llantas que se utilizó.

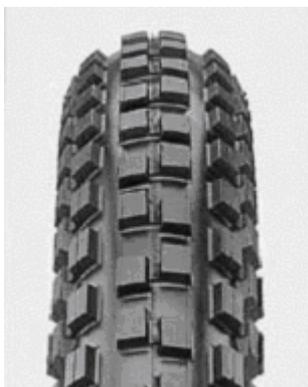


Figura 25 Grabado de las llantas



Figura 26 Grabado de las llantas

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

Primeramente, se debe determinar la aceleración que llevará la bicicleta. Para esto se analizan diferentes posibilidades de diseño que se muestran en la siguiente gráfica.

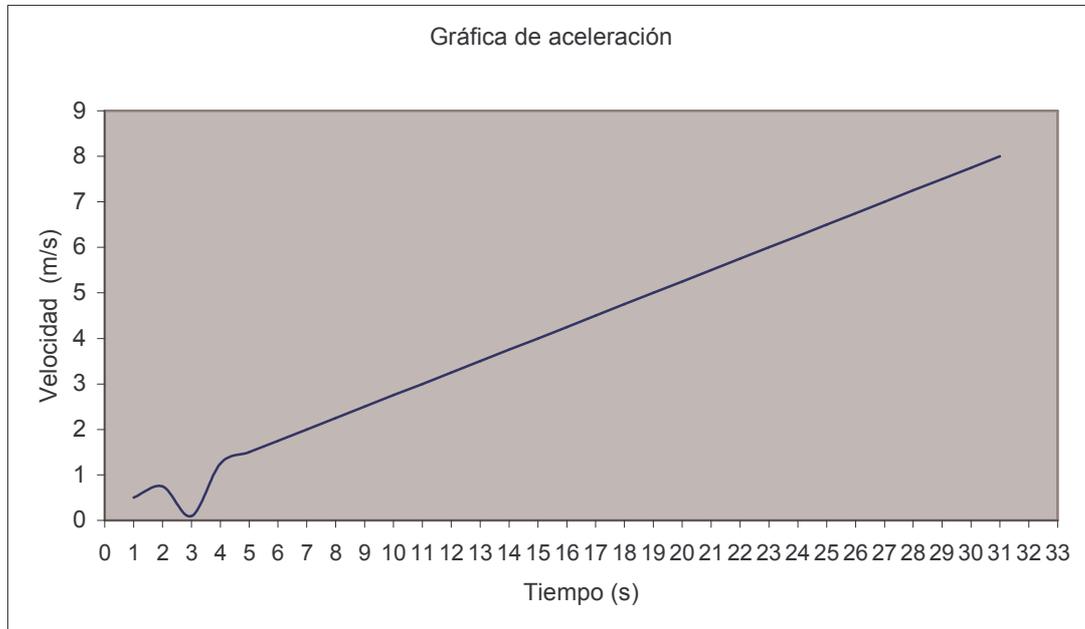


Figura 27 Gráfica experimental de la aceleración de la bicicleta

El valor de la pendiente se calculó con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{n \sum tv - \sum t \sum v}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad [29]$$

De aquí se deduce que la grafica de velocidad contra tiempo es la aceleración. Se procede al cálculo de la potencia requerida para estas diferentes aceleraciones y de esta forma seleccionar la potencia apropiada del motor.

Los valores que intervienen en la ecuación para obtener la potencia son:

Masa total del sistema $m= 100$ kg.

Aceleración local de la gravedad $g= 9.81\text{m/s}^2$.

Area frontal estimada del sistema hombre - bicicleta $A_T= 1.5$ m².

Coefficiente de arrastre $Ca= 0.2^1$

Densidad del aire $\rho= 1.2$ kg/m³.

Coefficiente de fricción promediado $\mu = 0.01517$

¹ El coeficiente de arrastre se determinó mediante la tabla anexada en la sección de adjuntos y en el CD en el subdirectorio con el mismo nombre.

Los resultados arrojados de la potencia utilizando la ecuación definida para este fin, para diferentes aceleraciones y diferentes ángulos de inclinación α de la superficie se muestra en la tabla 2.

Pendiente	a=0.25m/s ² ,V=0.25		a=0.5m/s ² ,V=0.5		a=1 m/s ² ,V=1m/s	
	W	Hp	W	Hp	W	Hp
0	8.7149972	0.0116901	32.463385	0.0435341	115.06177	0.1543004
10	47.843235	0.064176	117.52477	0.1576033	285.18455	0.3824387
20	85.678582	0.1149277	199.77553	0.2679034	449.68605	0.6030388
30	121.07143	0.162403	276.7165	0.3710829	603.56799	0.8093979

Tabla 2 Valores experimentales de la potencia requerida

Como puede observarse, la aceleración de 0.25 m/s² nos arroja un valor de muy baja potencia para el motor en cualquiera de los casos, pero a cambio, requiere demasiado tiempo para alcanzar la velocidad de diseño (8.3 m/seg =30 kph), además, hay que tomar en cuenta que puede existir un sobrecalentamiento del motor.

En la aceleración de 0.5 m/s, se incrementa la potencia, pero disminuye el tiempo necesario para alcanzar la velocidad de diseño. Esta aceleración sería la más apropiada ya que necesita un motor de aproximadamente 1/3 de HP para alcanzar la velocidad de diseño en un tiempo aproximado de 11 segundos y mover una masa de 100 kg.

Si observamos la última propuesta, la potencia se incrementa, y el tiempo para alcanzar la velocidad de diseño disminuye, esto elevaría el costo del motor.

En conclusión, se requiere un motor con un mínimo de 1/3 de HP, es recomendable sobredimensionar un poco el motor y así evitar sobrecalentamientos y posibles daños a la unidad, por lo cual se recomienda un motor de 1/2 HP o mayor (siempre y cuando el peso del mismo no se incremente demasiado).

SELECCIÓN DEL MOTOR

Existen en el mercado muy variados modelos de motores en una amplia gama de características. Para poder seleccionar el motor adecuado es necesario tomar en cuenta algunos factores, como lo es la funcionalidad, estética, peso, potencia que desarrolla, voltaje que utiliza, entre otros.

De entre muchas opciones se estudió la posibilidad de usar un motor como el mostrado en la siguiente ilustración:

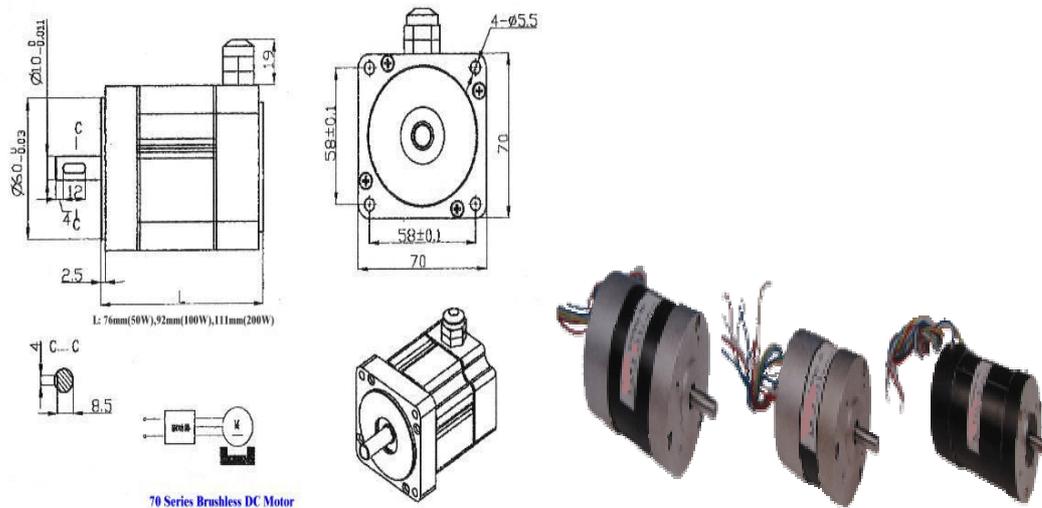


Figura 28 Posible elección de motor CC con escobillas

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
Amplia gama de velocidades (0-30000 rpm)	Perdidas por fricción al usar transmisión por cadena o banda
Amplia gama de potencias 5 a 1000W	Difícil ubicación en el cuadro de la bicicleta
Precio bajo	Posible desbalanceo en la bicicleta al ubicar el motor.
Vida laboral larga (> 20.000 horas)	Peso considerable.
Ruido bajo, alto esfuerzo de torsión	Se tiene que maquinar un soporte especial para el motor.
Eficacia alta (el > 75%)	Se tiene que maquinar un sistema de transmisión especial.
Control de la velocidad de Stepless, dual-dirección y funciones del freno	El vehículo pierde estética
Alimentación desde 12 hasta 36 volts	

Tabla 3 Ventajas y desventajas en los motores convencionales de CC

Se estudiaron otras posibilidades, pero la mayoría tenían las desventajas antes mencionadas, en algunos, la potencia era sobrada, pero el peso era excesivo, existían otros muy ligeros, pero sin la potencia necesaria.

Algunas compañías norteamericanas ofrecen soluciones a estos problemas, ampliando la gama de motores eléctricos de corriente directa, algunos como la empresa Power Zap systems, ofrecen un motor de corriente directa ligero y relativamente económico, pero con potencia y velocidad limitada (200 W, 20 KPH aproximadamente de velocidad máxima), además de que el sistema consta de 2 motores de corriente directa unidos entre si por medio de un rodillo de aluminio, este rodillo de aluminio transmite la potencia por contacto directo con rueda trasera del vehículo, por lo cual, el desgaste de la rueda es considerable además de que las pérdidas de potencia por fricción son altas.

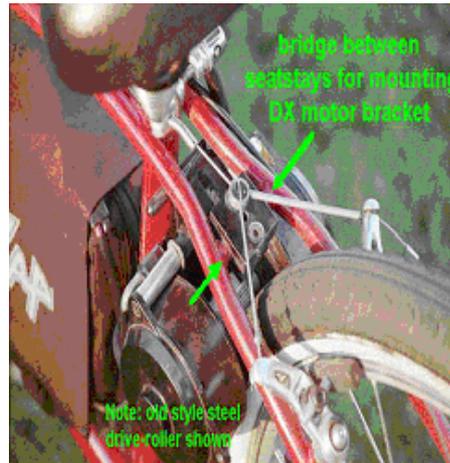


Figura 29 motor ZAP con roce en la llanta trasera por medio de un cilindro de aluminio

U.S prodrive ofrece otro sistema en el cual un motor eléctrico es acoplado a la rueda delantera o trasera del vehículo, y la potencia es transmitida por medio de un pequeño sistema de embrague parecido al de los automóviles, el problema de este sistema es que el motor es poco potente, inestabiliza la bicicleta y no alcanza la velocidad propuesta en el diseño, además de no contar con un control adecuado de la velocidad.



U.S. Pro-Drive™ Conversion Kit

Figura 30 Kit de conversión ofrecido por la compañía ZAP

De entre las muchas opciones (la mayoría extranjeras), se seleccionó el motor que ofrece la compañía Wilderness Energy Systems Research de California E.U.

Las características generales de este motor son las siguientes:
 Motor brushless 18 polos, 3 fases, tipo hub 400-700 watts pico.

Alimentación de 36 V CD.

Peso de 6 kg.

Consumo nominal de corriente de 12 A continuos, 17 A pico.

Iman permanente de cobalto en el rotor.

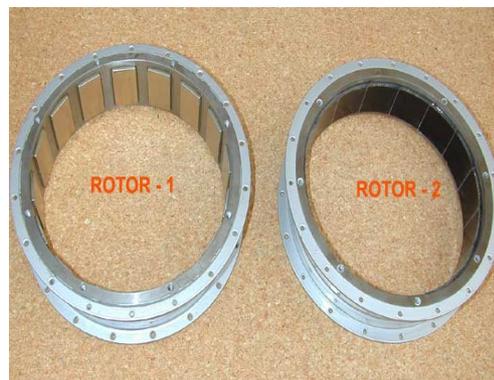
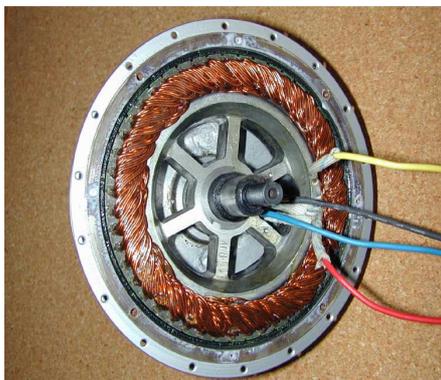
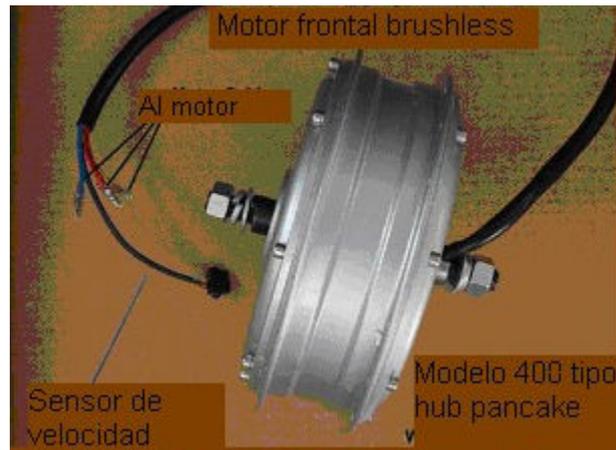


Figura 31 Imágenes del estator y del rotor que conforman al motor

Las ventajas que ofrece este motor son:

- 1.- Potencia adecuada.
- 2.- Velocidad variable.
- 3.- Instalación directa en el eje delantero.
- 4.- Peso moderado.
- 5.- No afecta al balanceo de la bicicleta.
- 6.- Se eliminan las pérdidas de energía por fricción debido a la transmisión por cadena.
- 7.- No afecta la estructura exterior del vehículo además de ser discreto. Por estas razones además de la fácil instalación y no ocupa lugares vitales para la colocación de los paneles solares, los cuales trataremos en capítulos posteriores.

CAPITULO 3

CONVERSIÓN DE LA BICICLETA ELÉCTRICA

ETAPAS DE ACONDICIONAMIENTO

Se procedió a la selección de una bicicleta adecuada que además de ser ligera, fuera modelo comercial, fácil reparación y de refacciones fáciles de encontrar.

Se pensó en usar una bicicleta de estas características con cuadro de fibra de carbono, pero a causa del alto costo, se rechazó esa opción.

Se decidió adquirir una bicicleta con cuadro, rines, manubrio y pedales de aluminio, esto con el fin de reducir el peso del vehículo al mínimo posible.

INSTALACIÓN DEL MOTOR

El motor adquirido (brushless, hub, modelo 408) se instala en un rin de 26 pulgadas de diámetro por medio de 36 varillas de soportes que lo centran y fijan a la rueda.

Esto solventa el problema de ubicación del motor, reduciendo las pérdidas de energía por fricción, problemas de rozamiento de los elementos de tracción con el cuerpo de la bicicleta, mejorar la estética y ocupar posibles espacios útiles para el sistema de recarga solar.

El motor se coloca de manera directa en el eje rotacional de la llanta delantera de la bicicleta como se muestra en la siguiente figura:



Figura 32 Rallos y motor acoplado al rin de la bicicleta

En la figura 33 se muestra al motor ya montado en el eje delantero. En este proceso se observó un problema, que es que las medidas de las ranuras de la tijera de bicicleta no siempre concuerdan con el diámetro del tornillo de sujeción del conjunto rueda-motor, por lo cual fue necesario hacer un pequeño desbaste en estas ranuras.

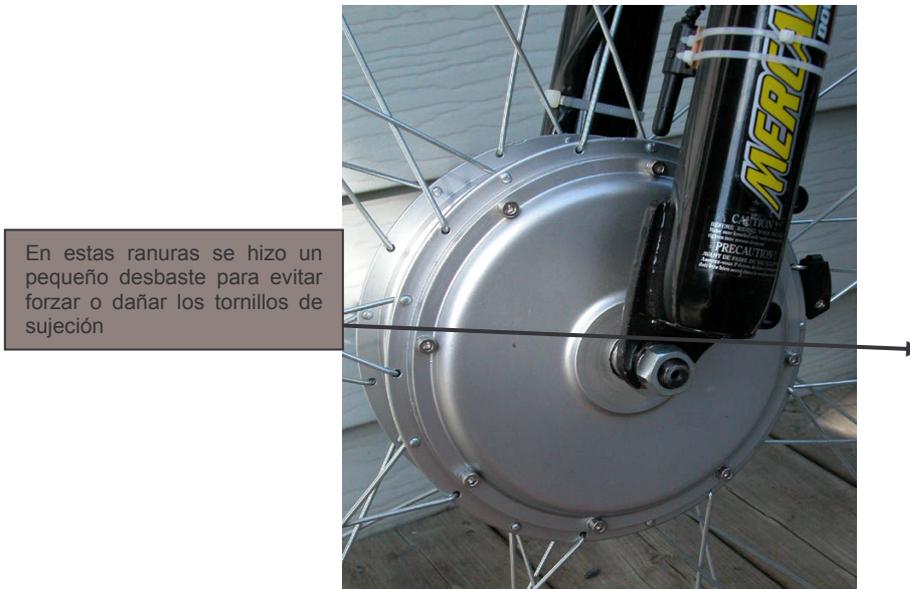


Figura 33 Montaje del motor en el eje delantero

Para solventar los problemas de ubicación del conjunto de baterías, así como la optimización del sistema de aceleración gradual, presentados en el proyecto antecesor, se decidió adquirir un paquete opcional al motor que consistía en los siguientes aditamentos:



Figura 34 Acelerador tipo muñeca (hall-effect sensor). 0-5 VCD(0 volts=máxima velocidad, 5 volts=mínima velocidad) ajustable al manubrio de la bicicleta por medio de un tornillo tipo allen y palanca para frenos. (marca comercial)



Figura 35 Juego de variador de velocidad, acelerador e interruptor general de llave

El conjunto de baterías se situó en la parte trasera del vehículo, abajo del asiento del conductor. Esto con el propósito de distribuir el peso en la bicicleta y que no todo el peso se concentrara en la llanta delantera.

El contenedor de las baterías es una bolsa de lona impermeable con cintas de velcro en la parte inferior de esta, esto con el fin de ajustarla al cuerpo del soporte-canastilla de manera rápida y fácil.

Para este fin se adquirió un soporte canastilla comercial de acero (figura 36), el cual se fija a la base del asiento y se fija en el eje trasero, el peso de las baterías es considerable (3.5 kg), pero no lo suficientemente importante como para colapsar el soporte, por lo cual se toma como una opción viable y económica.

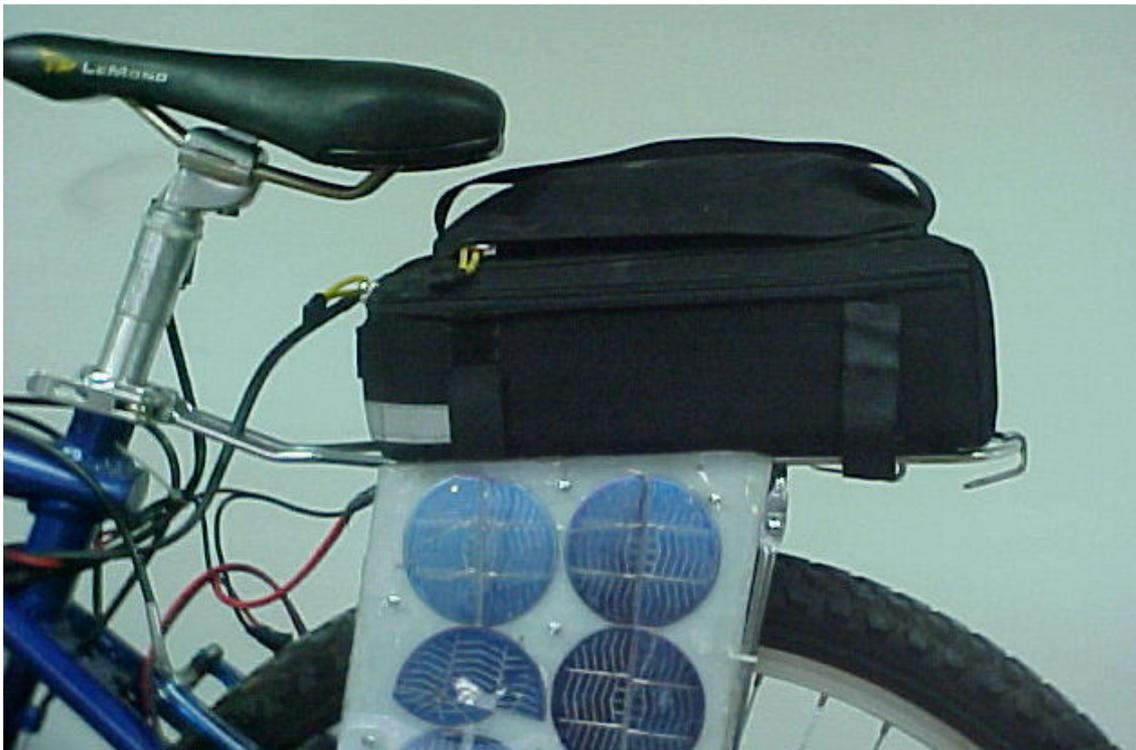


Figura 36 Canastilla y empaque de baterías



Figura 37 Vista superior del contenedor de baterías

Como seguridad adicional, se dotó al sistema de un interruptor eléctrico de 2 pasos (on-off) accionado por una llave, este aditamento se colocó debajo del asiento para disimularlo, además de evitar algún tipo de obstrucción con algún otro elemento.

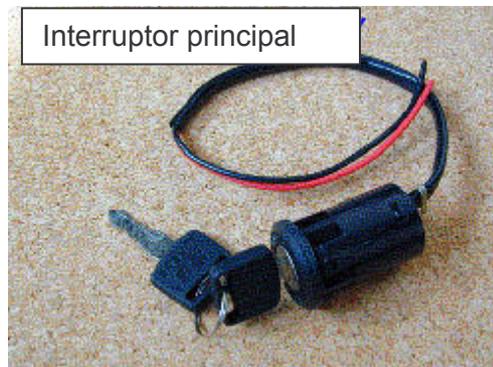


Figura 38 Interruptor principal de 2 pasos accionado con llave de seguridad

El variador de velocidad, así como el conjunto de cables se fijaron al cuerpo de la bicicleta por medio de unos cinturones plásticos de gran resistencia y ajuste aceptable, estos cinturones son muy utilizados para agrupar conductores eléctricos.

Un atributo extra es la colocación de un velocímetro electrónico comercial (figura 39), esto con el fin de poder registrar de manera constante y mas precisa algunos datos que serán de importante valor para los siguientes capítulos, algunos de los parámetros a medir son:

- . Velocidad
- . Distancia recorrida
- . Velocidad promedio
- . Revoluciones por minuto

. Máxima velocidad alcanzada



Figura 39 Velocímetro electrónico comercial

Una vista general de la bicicleta se muestra en la figura 40, donde, con ayuda del conjunto de baterías, puede operar sin dificultad y a una velocidad de 30 kph como máximo. Se puede observar su funcionamiento en el video incluido en el disco adjunto en el subdirectorio con nombre video.



Figura 40 Vista general del vehículo

CAPITULO 4

SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE PROTECCIÓN

PROTECCIÓN ELECTRÓNICA CONTRA SOBRECARGA DEL MOTOR

Una de las propuestas para este proyecto, es la implementación de un sistema automático de seguridad contra sobrecarga.

Por causas de seguridad y economía, ya que el motor es un producto de importación de alto costo, es necesario protegerlo contra sobrecargas. Es sabido que un motor eléctrico sufre sobrecalentamiento y posible daño a sus componentes internos cuando este es sobre esforzado, en el caso de pendientes muy pronunciadas o muy altas, el calentamiento constante puede provocar severos daños a los devanados del motor, por lo cual, para evitar al máximo este problema, se propone diseñar un sistema que registre de manera permanente los cambios y variaciones de la corriente consumida por el motor, de tal forma que al registrarse una sustancial elevación del consumo de corriente, un sistema automático corte de manera total el suministro de corriente del motor hasta que las condiciones normales de operación se reestablezcan.

Para este propósito utilizaremos un comparador de ventana. Se puede construir un comparador de ventana como se indica en la figura 41. El comparador de ventana proporciona una salida si la entrada esta entre UTP (por sus siglas en ingles upper trigger point) y LTP (por sus siglas en ingles (lower trigger point) y otra si la entrada es mayor que el punto de disparo superior o UTP o menor que el punto de disparo inferior o LTP ,puede detectar los límites superior e inferior de prueba de manera simultánea.

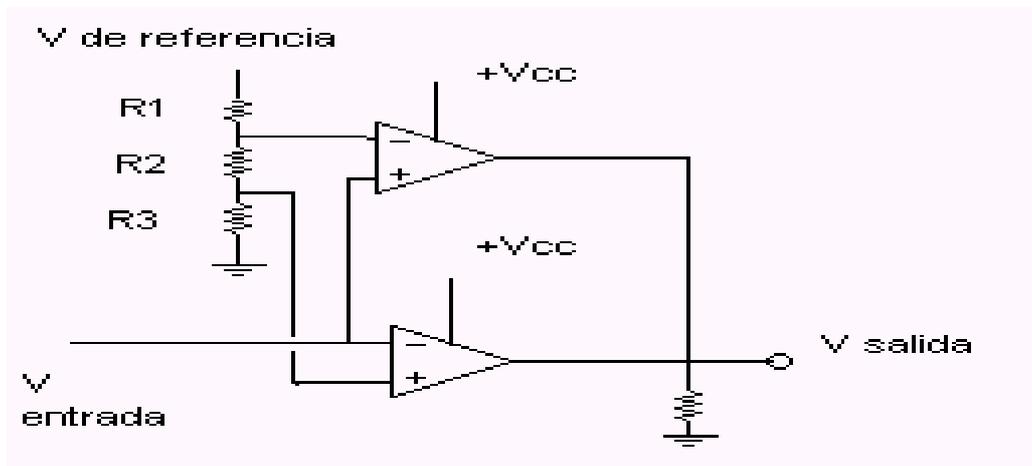


Figura 41 Diagrama de construcción de un comparador de ventana

Las relaciones para el funcionamiento del comparador de ventana son las siguientes:

$$V_{ent} > UTP \quad V_{ent} < LTP \quad \text{salida alta} \quad [30]$$

$$UTP > V_{ent} > LTP \quad \text{salida baja} \quad [31]$$

$$UTP = V_{ref} \frac{R2 + R3}{R1 + R2 + R3} \quad [32]$$

$$LTP = V_{ref} \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [33]$$

En nuestro caso, se tiene un rango de funcionamiento del motor de 12 a 17 A pico, por lo cual tomaremos un rango de seguridad que será el 70% más de la corriente nominal; estos son 15.5 A.

El siguiente diagrama muestra una conexión básica entre el motor y la fuente de poder:

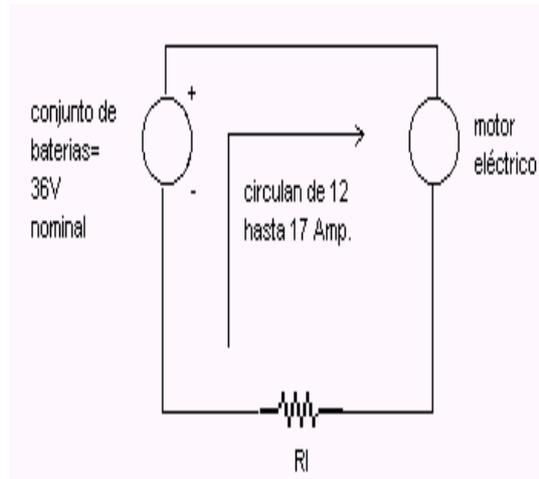


Figura 42 Flujo de corriente y conexión entre el motor y la fuente de alimentación

Se observa que el motor consume hasta 17 amperes en condiciones forzadas, por lo cual, si entre el circuito colocamos una resistencia en serie podemos generar una caída de tensión la cual debe de ser lo suficiente mente baja para evitar sustanciales caídas de potencia en el motor (figura 42).

Podemos tomar al motor como una carga más en el circuito, donde su resistencia interna es de 3 Ω .

A continuación fijamos la máxima caída de tensión en la resistencia que será de 1 V, y aplicando la ley de Ohm tenemos:

$$R = \frac{V}{I} \quad [34]$$

Dividiendo la caída de tensión requerida entre la corriente preestablecida de seguridad (15.5 A), obtenemos el valor de la resistencia a utilizar ($R=0.0645 \Omega$), esto quiere decir que en condiciones normales de operación (12 A), habrá una caída de tensión de 0.77 V.

Se observa que la resistencia es demasiado pequeña e inexistente en el mercado por lo cual se hará un arreglo en paralelo de resistencias de 1 ohm hasta alcanzar la resistencia deseada, como se muestra en la Fig. 43.

La resistencia equivalente (R_{eq}) del sistema esta dada por la ecuación 35.

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} = \frac{R}{n} \quad [35]$$

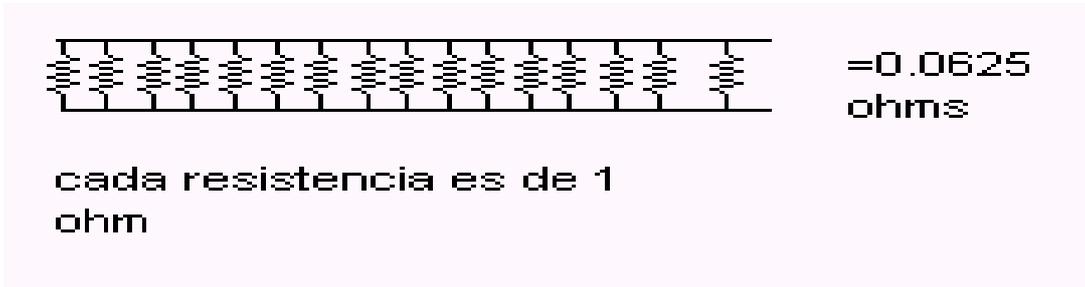


Figura 43 conjunto de resistencias en paralelo con valor de 0.625 ohms

El valor preseleccionado de 1 V corresponde al UTP, y como no necesitamos medir un rango mínimo, fijamos el LTP a 0V y el Vref = 12V.

Se propone arbitrariamente el valor de R2= 1kΩ, despejando R1 de la relación obtenemos R1= 11kΩ.

Las alimentaciones de los OPAM'S será de 12 V, por lo tanto, la salida será de 12 V. esta salida se utilizará para accionar una alarma aditiva y además un relevador electrónico normalmente cerrado que al ser energizado, abrirá el circuito y cortara la alimentación al motor.

La alarma auditiva funciona a 2 V por lo tanto, es necesario crear una caída de tensión de 10 V con la ayuda de una resistencia y así, alimentar con el voltaje necesario la alarma auditiva. Esta alarma tiene una resistencia interna de 15.9 Ω.

$$I \text{ que pasa por el circuito} = \frac{V \text{ de alimentación a la alarma}}{R \text{ interna de la alarma}} \quad [36]$$

Por lo tanto I= 2/15.9 =0.1257A.

$$R \text{ para lograr la caída necesaria} = \frac{\text{Caída de tensión}}{\text{corriente que pasa por el circuito}} \quad [37]$$

Por lo tanto R=10/.1257=79.5 Ω

Obteniendo un circuito como se muestra a continuación en la figura 44.

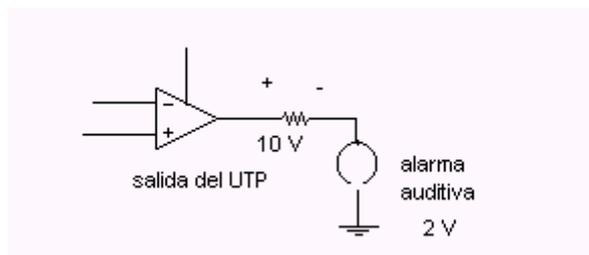


Figura 44 Salida del OPAM a alarma auditiva

Circulan 0.1257 A y con la resistencia de 79.5Ω se logra la caída de tensión requerida y así obtener una salida de 2 V para lograr la activación de la alarma auditiva.

Esta misma tensión de salida se utilizara para accionar el relevador electrónico tomando en paralelo la misma salida y así no variar el voltaje. El diagrama final quedaría de la siguiente forma: (Figura. 45).

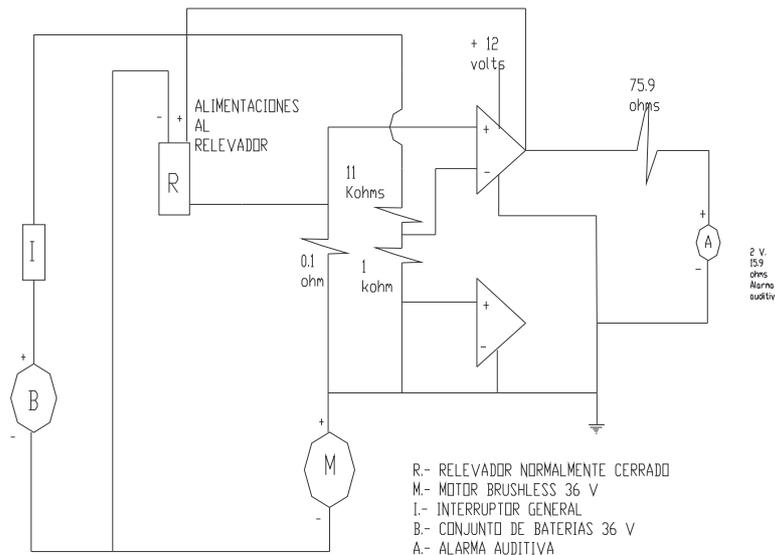


Figura 45 Diagrama electrónico de conexión de alarma auditiva

PROTECCIÓN ELECTRÓNICA CONTRA SOBRECARGA DEL CONJUNTO DE BATERÍAS.

El desarrollo de la tecnología actual en materia de almacenaje de energía es muy limitado, tanto en la forma de almacenarla, la cantidad de energía a almacenar y el tiempo que esta permanece almacenada. Para el presente proyecto, los elementos que dotan de energía al sistema están formados por una conexión en serie de 3 baterías tipo ácido-plomo selladas de 12V nominales, 7.0 A-h por recomendación del fabricante, las baterías deben permanecer siempre cargadas aun después de un periodo corto de tiempo de uso, pero por otro lado, la sobrecarga excesiva de estas puede causar un sobrecalentamiento con un posterior derrame del ácido alojado en su interior, lo cual les restaría vida útil, además de la posibilidad de dañar el equipo.

Por esta razón, se decidió dotar al sistema de un control automático de recarga que trabaje de manera conjunta con los sistemas auxiliares de recarga de baterías, formados por el generador de DC (dínamo) y el conjunto de paneles solares.

Este sistema esta formado por una configuración de amplificadores operacionales llamada amplificador no inversor con ganancia menor a la unidad, utilizando para este fin un amplificado operacional modelo LM-741.

La función que realiza esta configuración (Figura 46) es de registrar de manera constante la variación del voltaje tomando como referencia una de las baterías del

conjunto. Se determino de manera experimental que la carga máxima para proporcionar la mayor duración en el funcionamiento de la bicicleta es de 39 V. \pm 1.0 V, esto nos da un promedio de 13 V por cada batería; estos 13 V, alimentarán al amplificador operacional. Se asume que cuando la carga de una batería alcance el límite establecido las otras 3 estarán en el mismo nivel de carga o muy cercano a este, ya que están conectadas en serie.

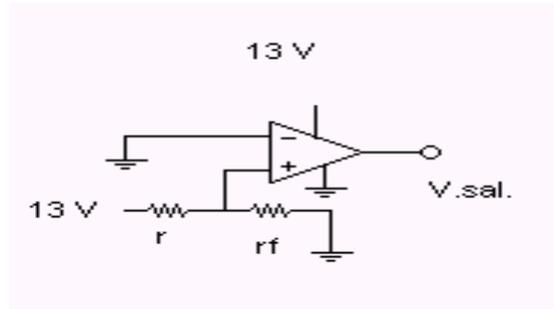


Figura 46 Configuración para alcanzar ganancias menores a 1

Para realizar el corte e suministro de energía se utilizará un relevador (relay) de 12 V, 10 A. Un polo 2 tiros, normalmente cerrado (Figura 47), esto quiere decir que al relevador permitirá de manera constante el suministro de energía ya sea por las celdas solares o el generador y que llegando a las condiciones requeridas se realizara el corte. De manera experimental, se determino que el voltaje mínimo de apertura para el relevador se encuentra en el umbral de los 6 V, por lo cual, el voltaje de salida debe ser de 6 V.

La relación matemática que rige el comportamiento de esta configuración es la siguiente:

$$V_o = \kappa V_{in} \quad [38]$$

De esta relación se conoce el voltaje de entrada que es de 13 volts, el voltaje de salida que es de 6 volts y la relación que define a:

$$\kappa = r_f / r_f + r. \quad [39]$$

Podemos predeterminar el valor de r_f con una resistencia comercial que teóricamente presentaba una resistencia de 10 k Ω y medida presenta una resistencia de 9.9 k Ω , por lo tanto, sustituyendo en la relación tenemos que el valor real de $r = 11.55$ k Ω los cuales se ajustaran con un potenciómetro de 0 a 20 k Ω .

Con esta salida se acciona el relevador (figura 47) cambiando de la posición de cerrado a abierto cortando así el suministro de energía. El circuito queda como el mostrado en las figuras 48 y 49.

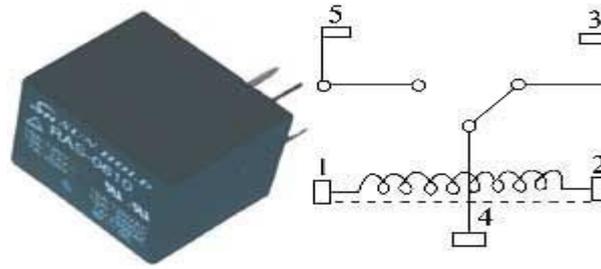


Figura 47 Relevador electrónico

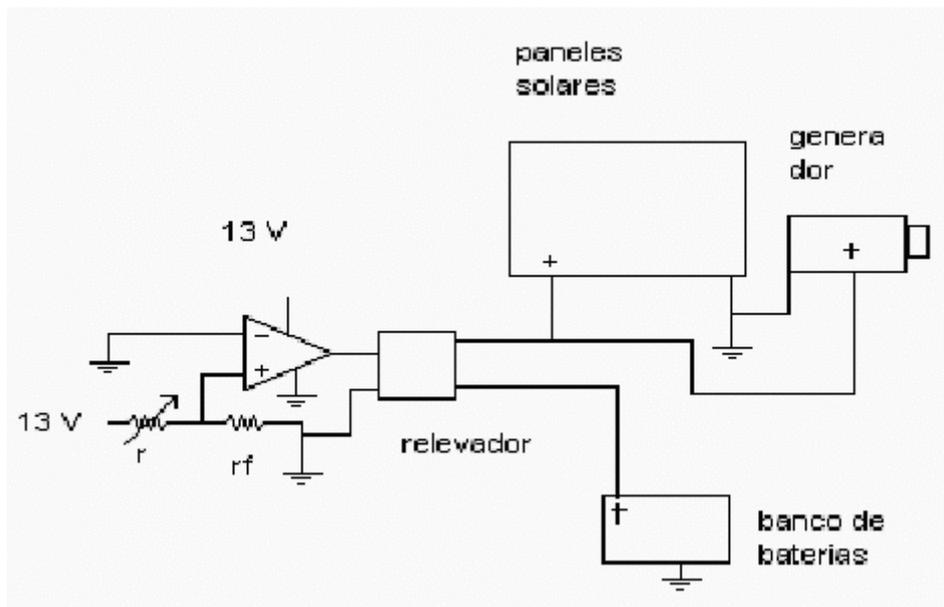


Figura 48 Diagrama de conexión del protector contra sobrecarga

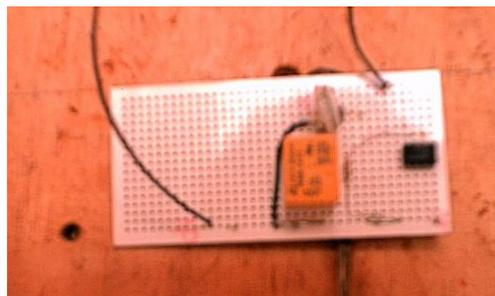


Figura 49 Modelo físico del protector contra sobrecarga

El ensamble físico de los circuitos se limitó al protector de sobrecarga de baterías, esto fue por que en las pruebas hechas al vehículo demostraron que el motor poseía un sistema de protección térmica interna que hace que se corte el suministro de energía cuando se alcanza una temperatura excesiva de operación, además, la corriente de seguridad calculada solo sería útil en un periodo corto de tiempo, ya que conforme se use el vehículo la carga de la batería disminuye y por lo tanto la corriente consumida, al ser directamente proporcional al voltaje baja conforme baje el voltaje suministrado por el conjunto de baterías. Esto hace inoperable el sistema, aunque de manera teórica funcionaría.

Este dispositivo electrónico será colocado en un contenedor de plástico rígido para evitar que se dañe y ubicado en el interior del espacio existente entre los paneles solares que serán fijados al cuadro de la bicicleta.

Con esto logramos proporcionar una protección extra al vehículo mientras se recarga el conjunto de baterías con los paneles solares y el dínamo mientras el vehículo esta en movimiento o bien estático recargándose por la sola acción del sol y los paneles solares.

CAPITULO 5

SISTEMA DE RECARGA AUXILIAR (DINAMO)

RECARGA DE BATERÍAS CON GENERADOR.

Una de los atributos esenciales para el presente proyecto es la recarga auxiliar del conjunto de baterías por medio de un generador de corriente directa acoplado a la estructura de la bicicleta y accionado por el movimiento rotacional de la rueda que se encuentra en contacto directo con el rodillo giratorio del generador.

Se espera que cuando la carga de la batería sea insuficiente el generador renueve la energía perdida y a su vez aumente la autonomía del sistema conforme este se encuentre en movimiento ya sea inducido por el usuario y por el motor.

Por la ley de la conservación de la energía se sabe que nunca se llegara a recuperar la totalidad de la carga perdida cuando el movimiento es inducido por el motor, esto a causa de las perdidas por fricción entre los elementos internos del propio generador, la fricción entre este y la rueda, etc. Pero se pretende lograr recargar de manera total el sistema por medio del pedaleo.

Se realizaron varias pruebas con el dinamo para conocer su comportamiento, de manera específica la potencia generada a ciertas RPM la duración de una carga de batería con el dinamo incluido y así verificar si las pérdidas de energía por este son mayores que la energía proporcionada.

ENSAMBLE DEL SISTEMA DE RECARGA CON DINAMO.

El generador de corriente directa o dinamo es uno de tipo comercial que puede ser adaptado al cuadro de cualquier bicicleta por medio de unas abrazaderas metálicas y unos tornillos, este se acopla cerca de la llanta trasera donde pueda hacer contacto con el costado de la llanta (figura 50).



Figura 50 Fijación del dínamo en llanta trasera

Se canalizan un par de cables (con polaridad positiva y negativa) y se mandan a un conector terminal el cual se acopla al conector de recarga del conjunto de baterías. En las pruebas realizadas, se observó que el generador se sobrecalentaba, esto debido a que los flujos de energía, del dínamo a las baterías y viceversa, se contraponían, y si la carga de la baterías era mayor que la carga mandada por el dinamo, esta tendía a fluir en sentido opuesto al requerido, esto inutilizaría por completo la función del generador y con el tiempo podría dañarlo. Este problema se solventó colocando un diodo tipo zener de propósito general de 40 V² [3] en la salida del generador para que actuara como una vía antirretorno y sólo permitiera el flujo de energía en un solo sentido (Figura 51).

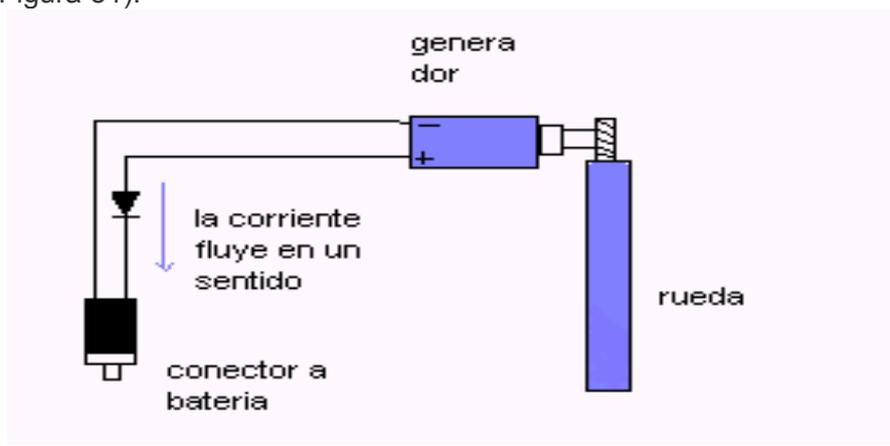


Figura 51 Diagrama de conexión del dínamo y diodo al conector de la batería

El sistema es solamente es una variación de una conexión convencional de un dinamo para energizar una lámpara, lo cual es muy utilizado por los ciclistas, la única variante es la colocación del diodo para evitar daños al dinamo.

² El voltaje mínimo requerido para recargar el conjunto de baterías es de 39 ± 1 v. Según recomendaciones del fabricante *Wilderness Energy Systems Research*.

CARACTERÍSTICAS DEL DINAMO.

En esta etapa, se experimento con el dinamo de tal forma que se pudiese obtener sus gráficas de comportamiento y así poder predecir su desempeño de manera teórica y experimental en la recarga del conjunto de baterías.

Para esto se fijaron a la bicicleta instrumentos de medición propios para este fin (amperímetro y voltímetro) y se conectaron a la salida del dinamo para poder verificar las lecturas en sin necesidad de detener el equipo.(Figura 52). Teniendo conectado de manera correcta los aparatos de medición, se dispuso a arrancar el equipo y fijar la velocidad con el acelerador de manera gradual para obtener lecturas de voltaje, corriente, velocidad y rpm.

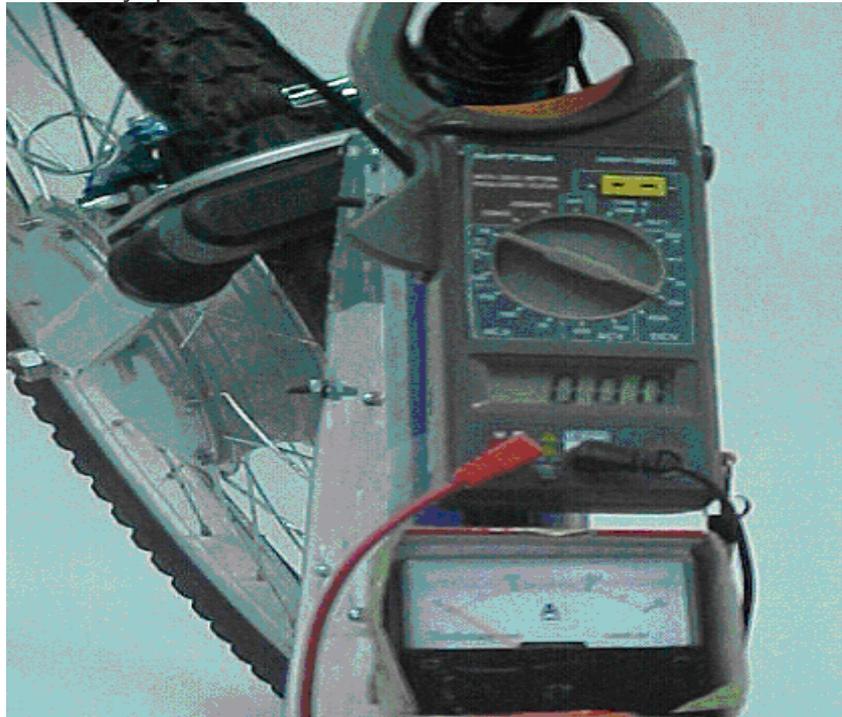


Figura 52 Instrumentos de medición montados al cuadro de la bicicleta

Se tomaron varias lecturas a diferentes condiciones de velocidad, tomando el promedio aritmético para un conjunto de 3 mediciones por cada dato presentado en las tablas.

Con estos datos se pueden obtener curvas de tendencia representativas entre dos parámetros. A continuación, se presentan los datos, gráficas y líneas de tendencia de estas. Las líneas de color claro muestran la tendencia experimental, mientras que las líneas de color oscuro muestran la tendencia real.

rpm	V experimental (kph)	V teórica (kph)	Volts generados (V)	Corriente generada (A)	Potencia (W)
21	2.6	2.6141316	3.1	0.02	0.062
24	3	2.98757897	3.6	0.04	0.144
25	3.13	3.11206143	3.6	0.05	0.18
27	3.3	3.36102635	4	0.06	0.24
28	3.5	3.4855088	4.13	0.06	0.2478
29	3.6	3.60999126	4.2	0.06	0.252
30	3.7	3.73447372	4.4	0.06	0.264
36	4.5	4.48136846	5.25	0.1	0.525
40	4.96	4.97929829	5.5	0.12	0.66
44	5.4	5.47722812	6.4	0.14	0.896
50	6.2	6.22412286	6.83	0.15	1.0245
60	7.4	7.46894744	7.85	0.18	1.413
71	8.76	8.83825447	9.56	0.23	2.1988
83	10.4	10.332044	11.16	0.25	2.79
90	11.2	11.2034212	12.13	0.28	3.3964
99	12.4	12.3237633	13.65	0.3	4.095
120	14.9	14.9378949	16.5	0.34	5.61
130	16.3	16.1827194	18.7	0.36	6.732
140	17.5	17.427544	18.866	0.37	6.98042
160	19.9	19.9171932	21.5	0.38	8.17
180	22.4	22.4068423	24.6	0.43	10.578
204	25.5	25.3944213	27.4	0.45	12.33
240	29.9	29.8757897	33.42	0.49	16.3758
266	32.3	33.1123336	32.4	0.52	16.848

Tabla 4. Datos experimentales arrojados por el dínamo.

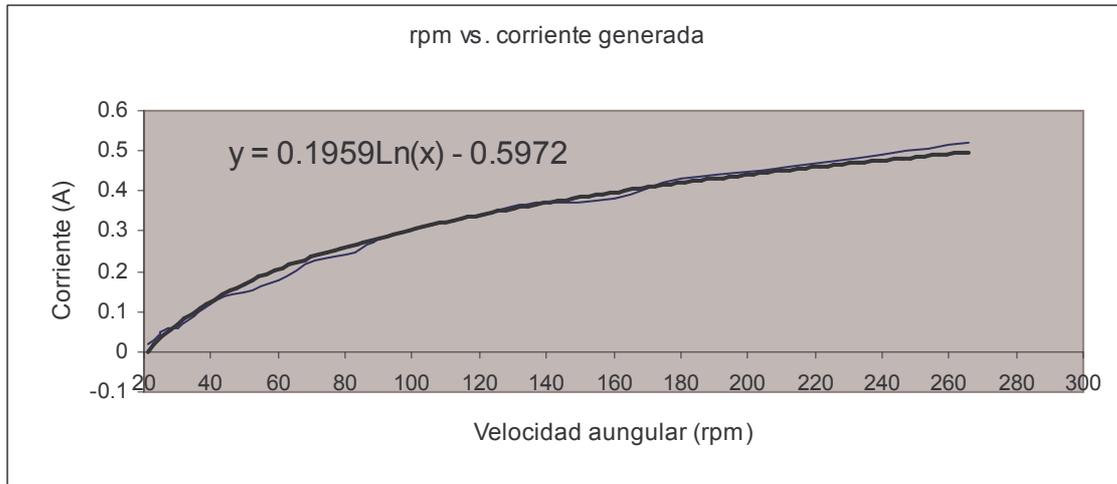


Figura 53 rpm vs. corriente generada

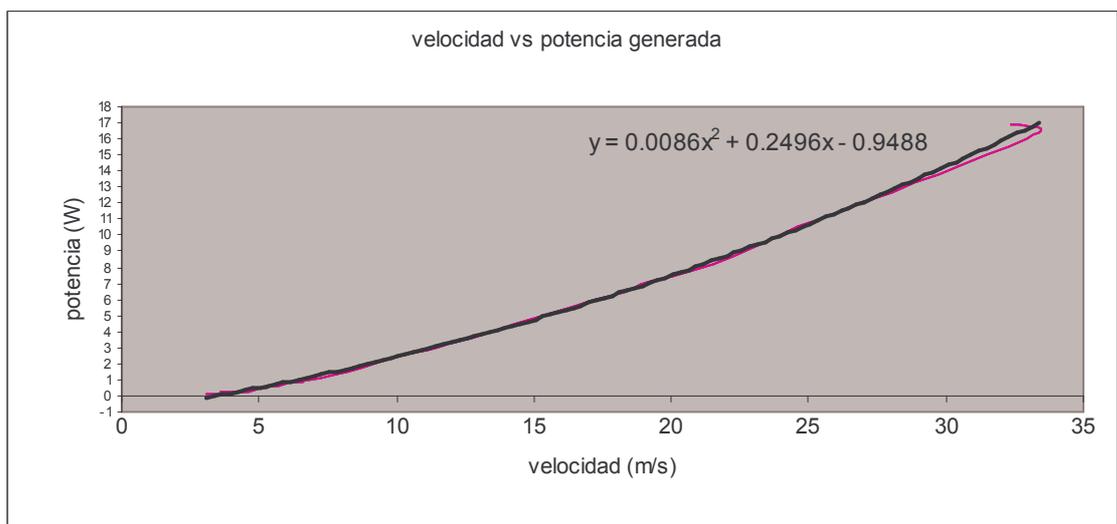


Figura 54 Velocidad vs. Potencia generada

Tomamos el límite máximo de velocidad de 32 KPH ya que, además de ser la velocidad máxima alcanzada por el motor, es una velocidad considerable para un ciclista promedio y que produce un desgaste físico medio, se pueden alcanzar velocidades mayores con pendientes prolongadas o aplicando una fuerza mayor al pedalear.

Se observa que existe cierta proporcionalidad entre la velocidad y la tensión inducida por el dínamo, pero experimentalmente se ha probado que un aumento en la velocidad y por lo tanto, las rpm hacen que el dínamo disipe mucho calor, y esto puede dañar al generador.

Por otro lado, se observa en la figura 53 que la corriente generada por el dínamo tiende a una función logarítmica, esto quiere decir, que aunque se aumente la velocidad del vehículo y las rpm, la corriente aumenta de manera poco considerable.

La figura 54 nos muestra la tendencia que tiene la potencia de aumentar conforme aumenta la velocidad lineal y por consiguiente, la velocidad angular. Esto nos reitera que conforme aumente la velocidad del vehículo, la tensión generada aumenta aunque no aumente de manera considerable la corriente.

Si tomamos un límite máximo de hasta 32 kph esto nos proporcionaría un voltaje de 32 V y una potencia de 17 W aproximadamente. Según los datos arrojados, es posible cargar el conjunto de baterías con la acción del dínamo solo si la velocidad lineal del vehículo superase los 40 kph.

Existe un problema en la recarga del conjunto de baterías que se detectó al tomar lecturas del conjunto cuando este se encontraba con carga completa. Las mediciones arrojaban valores de hasta 38 ± 1 V y aunque el sistema cuente con diodos para evitar que la energía generada regrese, a la velocidad máxima no podrá cargar el conjunto de baterías en su totalidad, ya que el voltaje generado debe ser 0.7 V mayor que la carga del conjunto para vencer la oposición del conjunto de diodos.

Por lo cual, el empleo del dínamo es inoperable cuando el conjunto de baterías se encuentra cargado en su totalidad y solamente es útil cuando la carga de las baterías es muy baja y el usuario del vehículo puede pedalear a una velocidad de 17 a 20 kph³ aun operando el dinamo de manera constante, este alcanzaría a cargar el conjunto de baterías hasta un valor de 31 V aproximadamente en el caso de mantener la velocidad constante en un rango de 31 kph.

Tomando como referencia el tiempo de recarga necesario al utilizar un cargador comercial de 40 V y 1.2 A, el cual le toma de 3 a 4 horas en recargar en su totalidad el conjunto de baterías, dependiendo el nivel de carga de estas, el dínamo tardaría el doble de tiempo en recargar el conjunto de baterías si la velocidad se mantuviera de manera constante a 38 o 40 kph (aproximadamente generando 38 a 40 V) o bien 332 rpm generando una corriente de 0.54 A según la tendencia de la curva de la figura 53.

Existe el inconveniente de mantener el ritmo constante de pedaleo a 38 KPH, ya que por el peso del vehículo, resulta fatigante para el usuario.

Al ser insuficiente la energía generada, se optó por la opción de recargar 1 batería del conjunto de 3 como se muestra en la figura 55 colocando al sistema un diodo tipo zener de 13 v para así, proteger al dinamo del posible retorno de energía, además de evitar que la batería llegase a descargarse. Este sistema funcionará en conjunto con el sistema de recarga solar para recargar las 2 baterías restantes, el proceso de experimentación se tratara en el capítulo correspondiente.

³Se determinó de manera práctica este rango de velocidad ya que personalmente lo considero un pedaleo cómodo, rítmico y fácil de mantener por un tiempo prolongado.

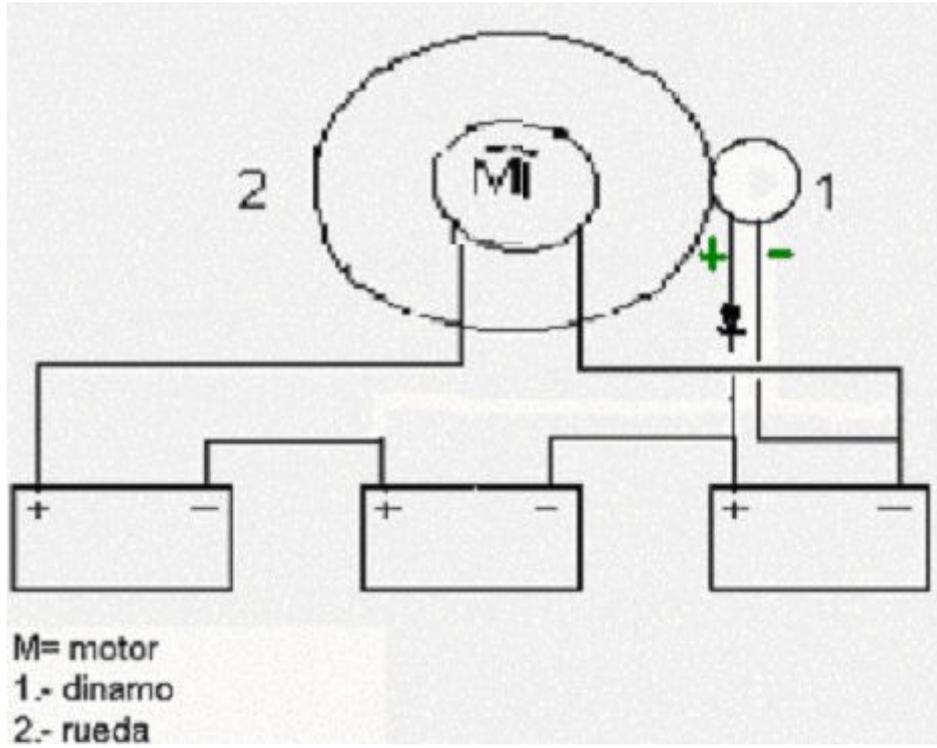


Figura 55 Conexión del dinamo a una batería del conjunto de 3

CAPITULO 6

SISTEMA DE RECARGA AUXILIAR (SOLAR).

RECARGA DE BATERÍAS CON CELDAS SOLARES.

La conversión directa de la energía solar en electricidad, depende del efecto fotoeléctrico que ya había sido descubierto en diversas formas en el siglo pasado. El efecto fotoeléctrico, es la emisión de electrones de una superficie sólida (o líquida) cuando se irradia con emanaciones electromagnéticas. Debemos señalar que hay dos tipos de efectos fotoeléctricos en las células solares. El primero es el interno, donde ciertos portadores de carga se ven liberados dentro del seno de un material mediante la absorción de fotones energéticos. En el caso del efecto fotoeléctrico externo, se emiten electrones libres mediante la absorción de fotones energéticos. El efecto fotoeléctrico, es el agente principal del funcionamiento de los dispositivos conocidos como células solares.

LA CELDA FOTOVOLTAICA

Partiendo de una oblea de Si (disco muy delgado) se produce una celda solar una vez que se ha creado el campo eléctrico interno y después de preparar los contactos eléctricos adecuados. El campo eléctrico debe ser superficial para que la radiación solar llegue fácilmente hasta él.

Los contactos eléctricos que se hacen en ambas caras de la oblea son de geometría y características especiales. La cara que no recibe la radiación se recubre totalmente, mientras que la cara expuesta a los rayos solares sólo se cubre parcialmente mediante un electrodo metálico en forma de red. Esto permite que el electrodo recoja en forma eficiente los portadores de carga eléctrica generados en el interior de la oblea.

Debido a que una celda solar genera corrientes y voltajes pequeños, éstas no son los elementos que se utilizan en las aplicaciones prácticas, sino que, con objeto de lograr potencias mayores, se acoplan en serie o en paralelo para obtener mayores voltajes y corrientes formando lo que se denomina módulo fotovoltaico, que es el elemento que se comercializa. A la vez, estos módulos se conectan en serie o en paralelo para obtener los voltajes y corrientes que nos den la potencia deseada.

Los módulos en serie aumentan el voltaje y conservan la misma corriente, mientras que módulos en paralelo aumentan la corriente, conservando el mismo voltaje.

LUZ SOLAR Y CELDAS

Se debe estimar la disponibilidad de luz del sol en el sitio de instalación del sistema. Es imposible predecir las condiciones solares para un día específico, pero los registros meteorológicos que cubran un período de varios años proporcionarán suficientes datos para diseñar la mayoría de los sistemas fotovoltaicos independientes. La insolación total sobre una superficie inclinada es el dato más interesante para los sistemas fotovoltaicos de inclinación fija.

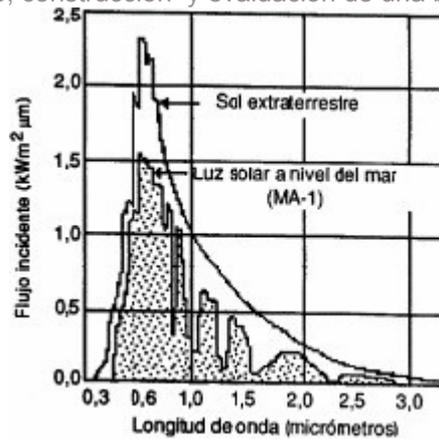


Figura 56 Espectro de radiación

Muy pocas veces se cuenta con datos de insolación para la instalación de sistemas fotovoltaicos independientes. La insolación en un área remota puede que no sea similar a la de la ciudad más cercana. Las condiciones solares locales pueden variar en forma significativa de lugar a lugar, particularmente en áreas montañosas. Si no se dispone de datos para un lugar específico, se debe estudiar la variación de los datos promedios de varias ciudades localizadas alrededor del sitio propuesto para el sistema. El cálculo aproximado del recurso solar influye directamente el rendimiento y el costo de los sistemas fotovoltaicos independientes.

INSOLACIÓN

Insolación es la cantidad de energía solar que recibe un área determinada durante un período de tiempo dado. Se mide en kilowatt-horas por metro cuadrado. También se usan mediciones en BTUs por pie cuadrado por hora. Los factores de conversión son:

$$\text{kWh/m}^2 = L * 85,93 = 316,96 \text{ Btu/pie.hora} = 3,6\text{MJ/m}^2$$

La atmósfera terrestre recibe una cantidad casi constante de energía solar radiante equivalente a 1.37 kilowatts por metro cuadrado. Este es el valor que se obtiene al integrar el área en la parte inferior del gráfico de la figura 56. Ahí se muestra el espectro de radiación extraterrestre junto al espectro de radiación conocido como "masa de aire 1" (MA-1). Este valor indica el efecto que sufre la radiación al atravesar el espesor de 1 atmósfera. Es evidente que la atmósfera tiene una gran capacidad de absorción y reduce la energía solar que llega a la tierra, particularmente en ciertas longitudes de onda.

Los datos de insolación se presentan frecuentemente como valores de promedio diario para cada mes. La irradiancia máxima es la disponible al mediodía solar de cualquier día dado, no importa cual sea la estación. El mediodía solar se define como la hora cuando el sol llega a su apogeo durante su trayectoria a través del firmamento. El término "horas de sol máximo" se define como el número equivalente de horas diarias en que la irradiancia solar alcanza un promedio de 1000 W/m². Seis horas de sol máximo significa que la energía recibida durante el conteo total de horas con sol en el día es igual a la energía recibida si el sol hubiera brillado durante seis horas a 1000 W/m².

En la ciudad de México, la irradiancia solar a nivel del suelo es aproximadamente de 1000 W/m². En algunas regiones montañosas, se han registrado lecturas de hasta 1200 W/m². Los valores medios son menores para la mayoría de las otras regiones, pero se pueden recibir valores instantáneos máximos de hasta 1500 W/m² durante los

días en que haya reflexión de nubes blancas. Estos niveles tan altos raramente duran más de algunos segundos. La insolación varía con las estaciones debido al cambio de posición de la tierra con respecto al sol. El efecto de esta variación se puede reducir a un mínimo al establecer el ángulo de inclinación del conjunto fotovoltaico con un valor igual al ángulo de latitud. Los ángulos del sol pueden calcularse para cualquier localización y fecha específica. La figura 57 muestra la trayectoria diaria del sol para un lugar del hemisferio norte. Esta trayectoria representa el ángulo relativo del sol con respecto a una superficie horizontal para una latitud de 40 grados en el hemisferio norte.



Figura 3. Trayectorias estacionales del sol a 40° N de latitud.

Figura 57 Trayectoria solar a través del día

Los datos de insolación de uso común se miden sobre superficies horizontales. Recientemente, se han tomado y registrado medidas de insolación sobre superficies inclinadas.

La eficiencia que presentan las celdas fotovoltaicas es muy baja, y se reduce mas dependiendo del ángulo de incidencia de la radiación solar. Esto no quiere decir que en algún momento, la energía transformada sea cero, ya que las celdas fotovoltaicas son capaces de recibir radiación difusa.

Para el caso del presente proyecto, se prevé una baja eficiencia de los páneles solares, ya que la colocación de estos en la estructura de la bicicleta no son los mas óptimos y son nada recomendables. Por esta razón, se propusieron al principio de este proyecto como un sistema auxiliar solamente y no un sistema de sustentación primaria de energía.

RENDIMIENTO DEL PROCESO FOTOVOLTAICO

El rendimiento de operación de una célula solar se define como el cociente entre la energía eléctrica producida y la energía solar interceptada por su superficie. Cuando se optimiza la carga que la célula debe alimentar el rendimiento es máximo.

Existen ciertos factores que influyen en mayor o menor medida en el rendimiento de una célula solar. Estos pueden ser de origen interno o externo como características del material, espesor de la oblea, superficie activa, geometría de los contactos, superficie del recubrimiento de las obleas, etc.

También pueden ser factores ambientales como temperatura de operación y composición espectral de la radiación.

CARACTERIZACIÓN DE LOS PÁNELES

CARACTERIZACIÓN DE CELDAS DE SILICIO PARA SU INTEGRACIÓN EN MÓDULOS

Los módulos de Si-c o Si-a⁴ se fabrican a partir de las celdas solares individuales, las cuales deben tener características similares: material, área, geometría, características V-I y Wp.

GEOMETRÍA DE LAS CELDAS

Las celdas pueden ser redondas o cuadradas (algunas ocasiones se encuentran con otras geometrías menos usuales) y de medidas variables, que van de algunos centímetros hasta 10 como máximo (como medida general para las circulares y cuadradas). Cuando las condiciones de uso lo requieren, es posible generar superficies curvas usando celdas flexibles y de dimensiones que varían desde los 10 mm hasta láminas de decenas de centímetros por lado.

CARACTERÍSTICAS V-I Y WP DE LAS CELDAS

Característica	Si-c	Si-a
I_p (mA/cm ²)	25	11
V_p (V)	0.46	0.6
W_p (mW/cm ²)	12	6.6
V_{oc} (V)	0.6	0.8

Tabla 5 Características de las celdas de Si

Las celdas de Si-a tienen entonces una mayor tensión pero generan una potencia⁵ menor.

CONEXIÓN DE LAS CELDAS EN SERIE O PARALELO

Al conectar las celdas en serie, aumenta el voltaje, mientras que en una conexión en paralelo aumenta la corriente. Al colocar n celdas en serie o paralelo, la potencia total suministrada es de:

$$W_p = n \times (I_p \times V_p) \quad [40]$$

En donde $I_p \times V_p$ es la potencia pico de cada celda. Al conectar las celdas en serie, la corriente que fluye a través de ambas celdas es la misma I_p . La mayor potencia se logra al elevarse la tensión

$$(W_p - I_p \times (n \times V_p)) \quad [41]$$

⁴ Las siglas Si-a y Si-c definen si las celdas son de silicio amorfo o cristalino respectivamente.

⁵ La unidad fundamental que mide la potencia desarrollada por un elemento es el Watt (W). el Watt es la potencia que consume un elemento al que se le ha aplicado una tensión de un volt y circula por él una intensidad de un amperio.

Al conectar las celdas en paralelo, la tensión en cada celda es igual, la mayor potencia se logra al aumentar la corriente total:

$$(W_p - V_p \times (n \times I_p)) \quad [42]$$

Por lo tanto, n celdas colocadas en serie o paralelo suministran la misma W_p .

El número de celdas empleado en los módulos de silicio de 12 VCD nominales es de 36. si $V_p = 0.46$ V, $V_p = 36 * 0.46$ V = 16.56 V. Para cargar baterías de plomo ácido de 12 VDC nominales, la tensión máxima de carga V_{max} (la batería comienza a descomponer el electrolito entre 2.3 y 2.38 V) es: $V_{max} = 2.3$ V/celda x 6 celdas) = 13.8 V.

Puesto que es necesario tener en cuenta las caídas de tensión en los conductores y en el diodo antirretorno:

$$V_{max} = 14.4$$
 V.

La diferencia de 14.4 a 16.5 V del módulo, se debe a que es necesario compensar la caída de tensión en el módulo por efecto de la temperatura

CARACTERIZACIÓN DE MÓDULOS

Los módulos se caracterizan por:

*Material de las celdas y estructura material (Si-c, Si-mc, Si-a, etc).

*Geometría del módulo.

*Dimensiones del módulo.

*Peso.

*Tipo de cubiertas (vidrio templado, plástico, etc).

*Bajo condiciones de prueba determinada.

*Curva IV.

*Isc, Voc.

*Potencia pico (W_p).

*Eficiencia.

*Efecto de factores externos como:

-Variación de la radiación.

-Temperatura sobre Isc, Voc.

CONDICIONES DE PRUEBA DE LOS MÓDULOS

Las condiciones de prueba estándar (CPS) para la determinación de las características IV de los módulos solares han sido adaptadas por todos los fabricantes. La comunidad europea (CE) recomienda la determinación de las características IV a condiciones tanto de 1000 como de 800 W/m². También recomienda la determinación de las características IV en condiciones de temperatura de celda NOCT (nominal operating cell temperature) como se muestra en la siguiente tabla:

VARIABLE	CPS	CE	CE-NOCT
Irradiación (W/m ²) incidencia	1000 normal	1000 y 800 normal	800 normal
Air mass(A _m)	1.5	1.5	1.5
Temp. De celda (°C)	25	25	NOCT

Tabla 6 condiciones IV y de temperatura en la celda

NOCT

Es la temperatura que alcanzan las celdas bajo las siguientes condiciones:

Irradiación: 800 W/m²

Air mass: 1.5

Temperatura ambiental: 20°C

Velocidad del viento: 1 m/s.

FACTORES QUE INFLUENCIAN EL RENDIMIENTO DE LOS MÓDULOS

Los factores que influyen el rendimiento de los módulos son: la irradiación solar, la temperatura de operación de celdas y las sombras, el tipo de cubierta que cubre las celdas, la temperatura de operación de las celdas y el tiempo de trabajo de las mismas.

EFFECTO DE RADIACIÓN SOLAR

I es función lineal de la radiación solar, mientras que V alcanza valores relativamente altos con valores bajos de radiación solar. Este comportamiento del módulo se deriva del comportamiento de las celdas individuales.

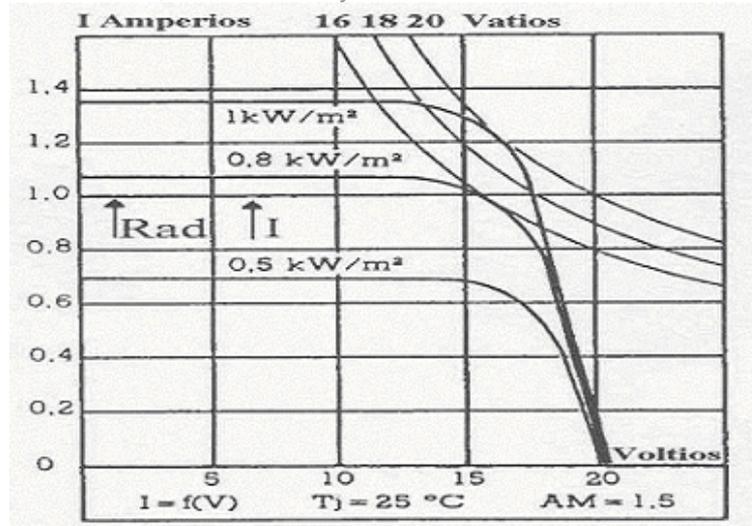


Figura 58 Efecto de la radiación sobre IV

OCT

Un módulo expuesto al medio ambiente es calentado por la radiación solar y refrigerado por la acción del viento. La temperatura de operación de las celdas (OCT) es superior a la temperatura de las CPS y por lo tanto cambian las características eléctricas del módulo.

La OCT es una función de la temperatura ambiental T_a , la radiación solar, la inclinación del módulo y la velocidad del viento, principalmente:

$$OCT = f(T_a, \text{radiación}, \text{velocidad del viento}, \text{inclinación del módulo}) \quad [43]$$

Sin embargo, si se supone:

$$OCT = T_a + \text{coeficiente de radiación} \quad [44]$$

Es posible estimarla a partir de la NOCT, puesto que:

$$NOCT = 20^\circ\text{C} + \text{coef} \cdot 800 \text{ W/m}^2 \rightarrow \text{coef} = (NOCT - 20^\circ\text{C}) / (800 \text{ W/m}^2) \quad [45]$$

Y por consiguiente

$$OCT = T_a + [(NOCT - 20^\circ\text{C}) / (800 \text{ W/m}^2)] \cdot \text{radiación} \quad [46]$$

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LAS CELDAS

Uno de los factores más adversos para los módulos son las elevadas temperaturas de operación de las celdas pues si bien la corriente aumenta ligeramente con la temperatura, el voltaje decrece y el efecto neto es una disminución de la potencia. Para compensar esta disminución el módulo debe tener un número suficiente de celdas, para que a elevadas temperaturas suministre la tensión de carga requerida.

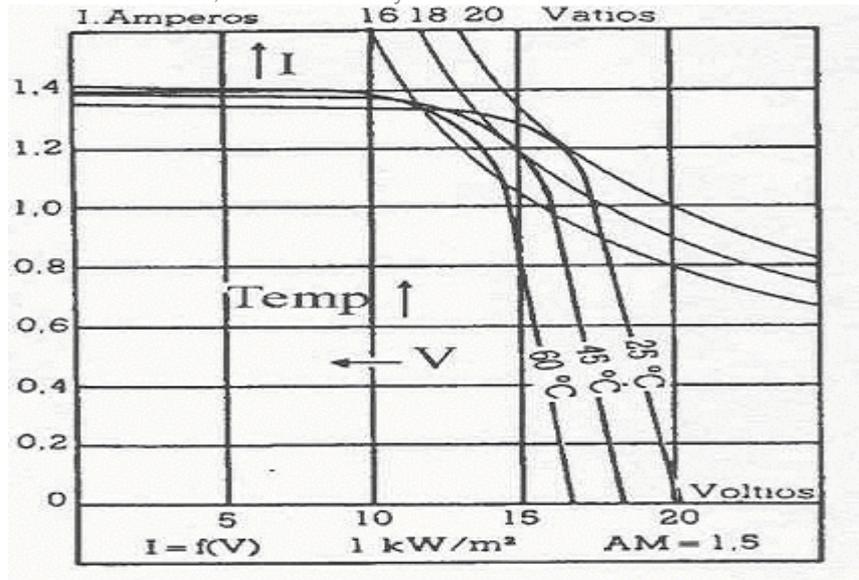


Figura 59 Efecto de la temperatura sobre I y V

EFFECTO DE LA TEMPERATURA
SOBRE:

	CAMBIO RELATIVO
Voc	-0.37 % / °C
Isc	+0.1 % / °C
Vp	-0.57 % / °C
Ip	+0.07 % / °C
Wp	-0.37 % / °C

Tabla 7 Efecto de temperatura sobre características de módulos Si-c o Si-mc

EFFECTO DE LAS SOMBRAS

Una celda solar parcialmente cubierta genera una corriente inferior a una celda descubierta. Si esta celda se encuentra en un arreglo en serie, por el que fluye una corriente I, la celda cubierta para permitir el paso de I tiene que operar a una tensión negativa. El efecto total, es que la potencia generada por la celda es negativa, es decir, la celda cubierta disipa potencia. La temperatura de la celda se eleva y puede producir deterioro de la celda y del modulo. Con el propósito de evitar este efecto se emplean diodos by-pass sobre grupos de celdas en el módulo (generalmente 1 diodo por cada serie de 18 celdas)

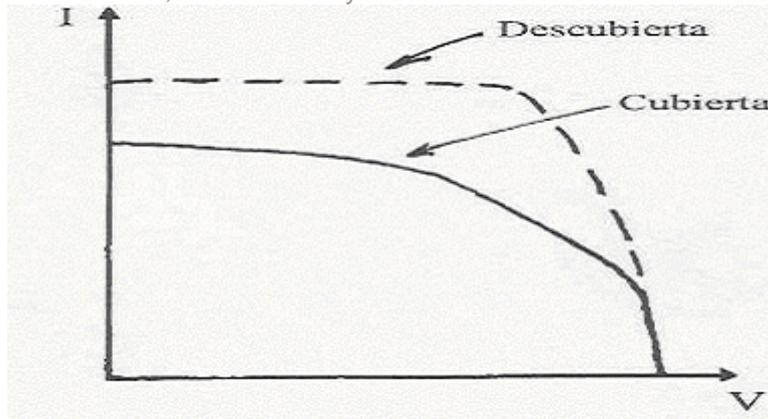


Figura 60 Efecto de la sombra sobre la curva IV

INTERACCIÓN DEL MÓDULO CON CARGAS

CARGA RESISTIVA

A través de una carga resistiva R , $I = (1/R) * V$. Esta línea recta intersecta la característica IV del módulo solar en un punto que define las condiciones IV de operación del módulo.

Una resistencia permite en trabajos de inspección y mantenimiento verificar la operación del módulo en condiciones de máxima potencia. Para un módulo típico operando a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (OCT), $V_p = 15\text{V}$, $I_p = 2.5\text{ A}$, la resistencia apropiada es $R = 15/2.5\text{ ohm} = 6\text{ ohm}$. Una resistencia de 6 ohm y 10 W permite medir I_p y V_p , y es un elemento de trabajo esencial para una persona encargada en inspección y mantenimiento.

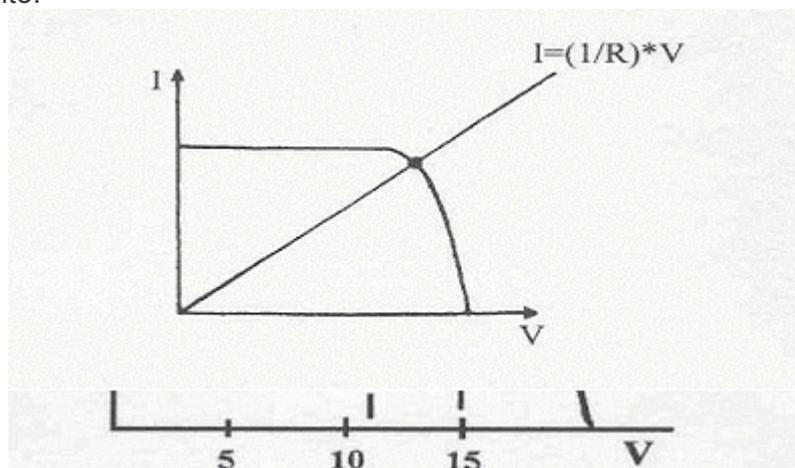


Figura 61 Punto de trabajo de un módulo con carga resistiva

CARGA GALVÁNICA

La carga mas frecuente en un módulo es una batería, la tensión de una batería depende principalmente de su estado de carga pero es afectada por la temperatura del electrolito, vejez, entre otros factores. Es esta tensión la que define la tensión de operación del módulo, y con ello, la corriente. A medida que la corriente va cargando la batería, su tensión aumenta y con ello, el punto de operación del módulo se va desplazando a lo largo de la característica IV. El modulo debe suministrar corriente

hasta que la tensión de la batería alcanza la tensión máxima de carga. La tensión de carga varía entonces entre 10.5 y 13.8 volts (máximo 14.4 V).

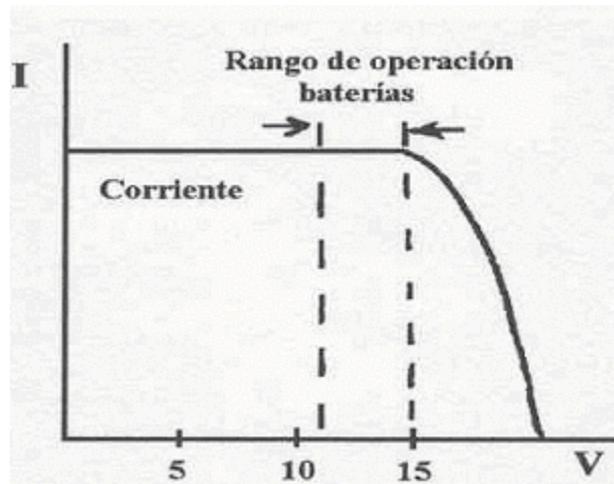


Figura 62 Interacción de un módulo con batería

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CELDAS A UTILIZAR

Al proponer el presente proyecto se tuvo en consideración, que para hacer totalmente solar el sistema de alimentación de la bicicleta, era necesario la utilización de un área de captación muy grande, tomando en cuenta que las celdas fotovoltaicas elegidas generaban 0.45 volts pico a 0.6 amperes se tiene que:

Según datos del fabricante:

Tensión de carga máxima de 1 batería = 14.4 V.

Tensión de carga máxima del conjunto de baterías = 43.2 V.

Corriente máxima de recarga de baterías = 2 A.

Corriente recomendada por fabricante para recarga de baterías⁶ = 1.2 A

Tensión máxima generada por celda = 0.46 V

Corriente máxima por celda = 0.6 A

Área neta por celda (semicircular) = 0.00769 m²

Área neta por celda (circular) = 0.01539 m².

Para generar 43.2 V para recarga se necesitaría hacer una conexión en serie de:

$$43.2 \text{ V} / 0.46 \text{ V/celda} = 94 \text{ celdas semicirculares} \\ = 47 \text{ celdas circulares}$$

94 celdas semicirculares \times 0.00769 m² / celda = 0.72286 m² de área efectiva de captación solar.

Con esta configuración se obtendrían los 43.2 V necesarios a 0.6 A.

Por lo tanto, sería necesario hacer una conexión en paralelo de dos conjuntos de celdas iguales para sumar 1.2 A; esto arrojaría un valor de:

⁶ Esta corriente recomendada es para evitar que el conjunto de baterías se sobrecaliente y se dañe, un aumento de corriente provocaría una recarga mas rápida pero un tiempo de vida útil de las baterías menor.

Área para generar 43.2 V a 1.2 A. = 1.44572 m²

Numero de celdas semicirculares para generar 43.2 V a 1.2 A = 188 celdas semicirculares.

Puesto que la potencia está dada por la siguiente relación:

$$W_p = n \times (I_p \times V_p) \quad [47]$$

Se tiene que:

$$W_p = 188 \times (0.6 \text{ A} \times 0.46 \text{ V}) = 51.88 \text{ Watts pico.}$$

Una de las propuestas del proyecto fue la de utilizar las áreas disponibles del vehículo, siempre y cuando no interfiriera con la estética del mismo, esto es, utilizar los espacios vacíos que ofrecen el cuadro y los rines de la bicicleta (figura 63).

- * Espacio del cuadro = $(0.37 \times 0.54) / 2 = 0.0999 \text{ m}^2$.
- * Espacio en el cuadro 2 costados = $0.0999 \times 2 = 0.1998 \text{ m}^2$
- * Numero de celdas semicirculares / costado = 26 pzas
- * Numero de celdas semicirculares / 2 costados = 52 pzas
- * Área efectiva de captación solar = $52 \times .00769 = 0.3998 \text{ m}^2$
- * Espacio libre en rines por cada lado = $(\pi \times (0.57^2 \times .20^2)) / 4 = 0.2237 \text{ m}^2$.
- * Espacio libre en 2 rines x 4 lados = $4 \times 0.2237 = 0.8948 \text{ m}^2$.
- * Numero de celdas semicirculares / costado del rin = 52 pzas
- * Numero de celdas semicirculares / 4 costados del rin = 208 Pzas.
- * Área efectiva de captación solar en rines = $208 \times 0.00769 = 1.5995 \text{ m}^2$.
- * Área neta de captación solar = $1.5995 + 0.3998 = 1.999 \text{ m}^2$.
- * Número total de celdas semicirculares = 260 pzas.



Figura 63 Vista de las áreas para colocación de los paneles solares

Se puede observar que el área disponible es suficiente y sobrada para generar la energía requerida y por lo tanto, el número de celdas requerida es menor al número de celdas posibles a instalar con un excedente (Figura 63).

Se adquirieron 89 celdas semicirculares. Esto corresponde al 47 % del número total de celdas requeridas para cargar el conjunto de baterías.

- * Tensión máxima generada con 89 celdas semicirculares = $0.46 \text{ V} \times 90 = 41.4 \text{ V}$
- * Corriente máxima generada con 90 celdas = 0.6 A .
- * Área efectiva de captación solar con 90 celdas = $90 \times .00769 \text{ m}^2 = 0.6921 \text{ m}^2$.
- * Wp a generar = $90 \times (0.6 \text{ A} \times 0.46 \text{ V}) = 24.84 \text{ Watts}$.

Esto predice que aunque se alcanza el voltaje requerido para cargar el banco de baterías, el tiempo de cargar tardaría el doble de tiempo necesario en lograr su cometido ya que la intensidad de la corriente es menor a la recomendada.

El número de celdas en existencia puede bastar para usar el espacio disponible en el cuadro y parte del espacio disponible en los rines; o bien, los 2 costados de la canastilla que soporta el banco de baterías.

Ya que el vehículo cuenta con un sistema de amortiguamiento en la parte frontal, se puede valorar la utilización de este espacio disponible para la colocación de los paneles solares o bien, para evitar posibles daños o golpes a esta parte del vehículo, utilizar solo una parte y concentrar la mayor parte de las celdas en los costados del cuadro de la bicicleta.

CONSTRUCCIÓN DE LAS CELDAS SOLARES.

El proceso de construcción de las celdas solares es relativamente sencillo, mas sin embargo, siempre existe el riesgo de dañar alguna celda a causa de su mal manejo o falta de experiencia en la fabricación de los módulos; esto debido a que los módulos o celdas unitarias son muy frágiles.

Ya que se tenía definido la ubicación de los paneles en el vehículo, se procedió a seleccionar la cubierta que los protegería. El material protector debe cumplir ciertas características, debe permitir el paso a la mayor cantidad de radiación, debe proteger a los módulos contra los factores climáticos tales como lluvia y humedad, además de protegerlos contra posibles impactos de baja magnitud.

Una de las selecciones posibles fueron cubiertas de vidrio, pero se descartaron de inmediato a causa de su rigidez, un impacto o flexión sobre las cubiertas provocaría la ruptura de las mismas, así como de los módulos fotovoltaicos.

Se optó por utilizar cubiertas de acrílico transparente, ya que estos, soportan de mejor manera las flexiones sin dañarse, así como impactos; y al ser transparentes, permiten el paso libre de la radiación solar afectando el rendimiento de las celdas de forma mínima, además de poder cortarse de manera más dinámica y sencilla.

Ya que los espacios libres disponibles en la bicicleta no son uniformes, cada cubierta es distinta entre si.

Se pensó en la posibilidad de habilitar paneles solares en la rueda delantera del vehículo, pero se descarto la posibilidad al encontrarse ciertos inconvenientes tales

como la vibración y la acción constante de impactos contra la rueda podrían afectar a los módulos y hasta dañarlos, otro inconveniente fue que en condiciones normales de operación, las ruedas del vehículo se encuentran mas expuestas a charcos de agua, aunque los módulos permanecerán sellados contra el agua y humedad, algún hipotético impacto que dañase las cubiertas, formarían grietas que permitirían la transminación del agua al interior de los páneles.

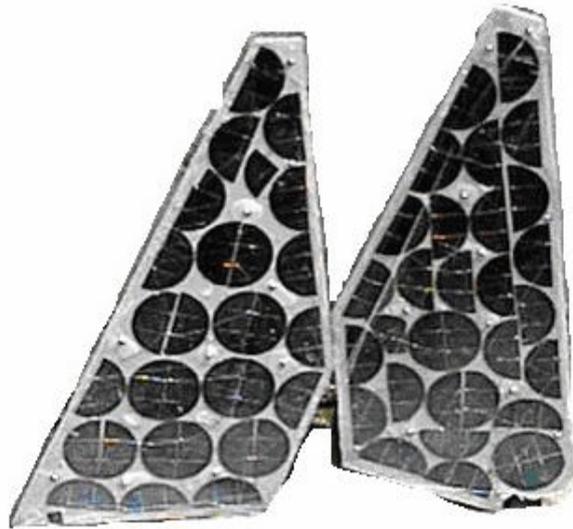


Figura 64 Módulos solares montados en cubiertas de acrílico

Teniendo las cubiertas cortadas a la medida, se procedió al acomodo de los módulos y soldarlos entre si. Ya que se necesitaba la mayor generación de voltaje posible, las celdas se conectaron en serie promedio de cables de cobre calibre 18.

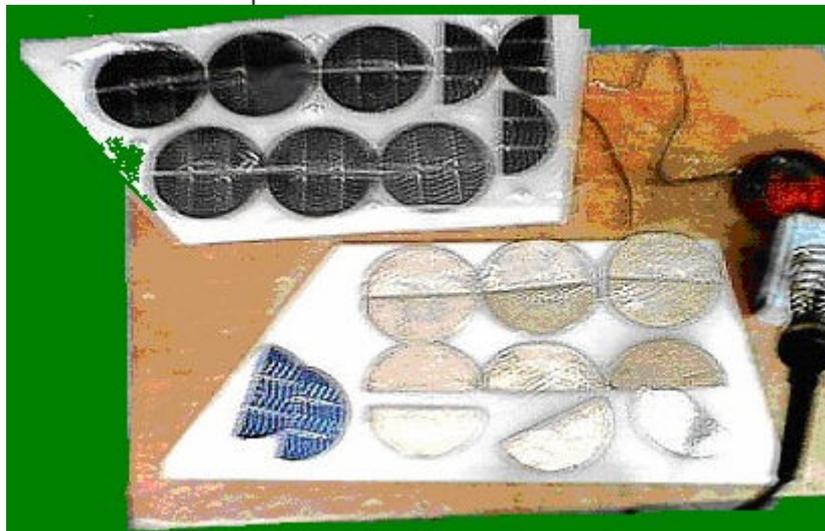


Figura 65 Armado de los páneles solares sobre cubiertas de acrílico

En la figura 66 se muestra de manera gráfica el efecto que tendría un cuerpo, que en este caso sería el conductor, sobre los módulos. Al fijarse la cubierta superior, la presión ejercida por los tornillos de ajuste ejercerían una fuerza en los extremos del módulo causando una posible ruptura del mismo.

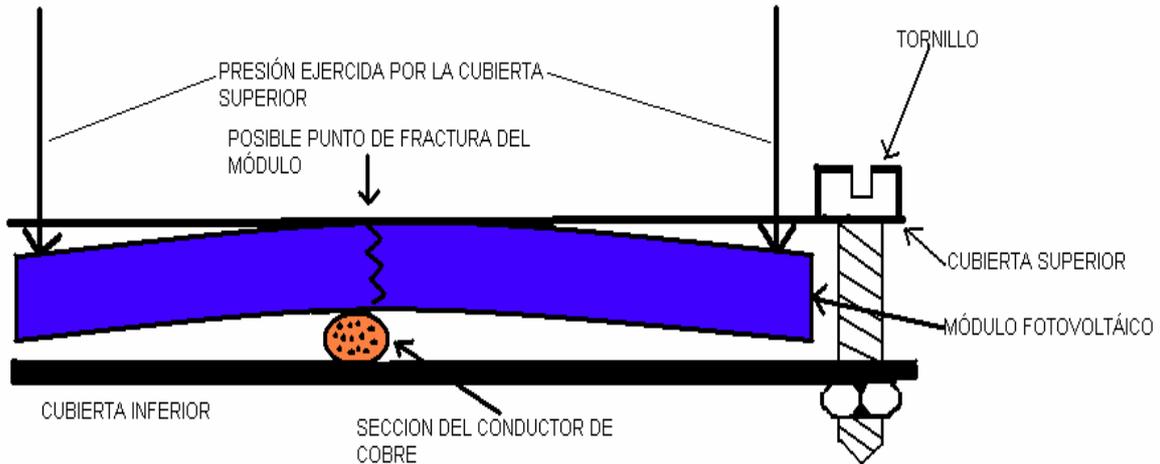


Figura 66 Efecto de flexión que ejerce la cubierta superior sobre los módulos solares con el conductor completo

Para evitar este problema se le retiró la cubierta plástica de los cables, utilizando solamente los filamentos distribuyéndolos de la mejor manera bajo la superficie del módulo logrando con esto, una muy considerable disminución de la flexión en los módulos y evitar posible rupturas en los mismos (figura 67).

Cabe señalar que esta medida trajo como consecuencia que el tiempo requerido para soldar los conductores al modulo se multiplicó, debido a que se tuvo que soldar filamento por filamento.

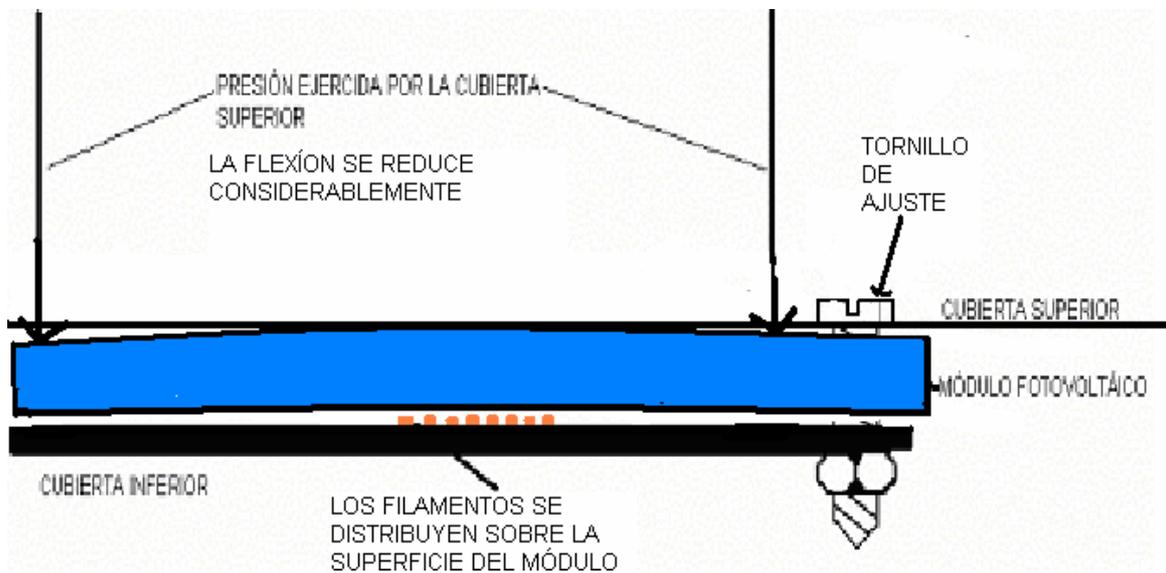


Figura 67 El efecto de flexión se reduce al extender el conductor de manera uniforme bajo la superficie del módulo

Por indicaciones del fabricante, la parte superior de las celdas corresponden al polo positivo y la parte inferior al polo negativo, por tal motivo, no existió problema alguno en soldar los conductores en la parte superior de los módulos, ya que las cubiertas de acrílico soportan en mayor medida la flexión. Sin embargo, para reducir los problemas antes mencionados, a los conductores soldados en la parte superior de los módulos, les fueron retirados los aislantes.

Teniendo los módulos soldados entre si, se procedió a fijarlos a la cubierta inferior, esto se hizo con una ligera capa de silicón.

Posteriormente, se procedió a colocar la cubierta superior, la cual fue fijada con tornillos de 1/8 " x 3/4" de longitud y sellarla en las orillas con silicón para evitar el paso de humedad al interior de los paneles.

ENSAYO CON CELDAS SOLARES

Las celdas solares se ensayaron y probaron bajo condiciones reales, esto quiere decir que las celdas se colocaron en posición vertical, tal como irían colocadas en la bicicleta. Con respecto a la orientación, es sabido que el vehículo cambia de orientación de manera constante por lo tanto, se ensayaron los paneles solares en 2 orientaciones arbitrarias. En una de estas posiciones, la mitad de los paneles se orientan al este y la otra mitad al oeste, la segunda orientación es de norte a sur. En esta orientación de norte a sur, una mitad del conjunto de paneles se mantiene siempre de cara al sol recibiendo radiación directa mientras que la otra mitad del conjunto permanece a la sombra recibiendo radiación difusa durante todo el recorriendo del sol.

En la orientación E-O , la radiación directa y difusa se reparten en periodos iguales de tiempo, recibiendo por la mañana radiación directa el conjunto orientado al este y después de medio día, recibiendo radiación directa el conjunto orientado al oeste.

El fin de estos ensayos, es obtener la máxima generación de voltaje y corriente disponible que proporciona el conjunto completo de los 4 paneles.

Para poder medir la corriente generada, es necesario que los paneles se encuentren sometidos a una carga resistiva. Para determinar el valor de la resistencia a utilizar aplicamos la ley de ohm:

$$V = RI \quad [47]$$

$$P = VI \quad [48]$$

Si se tienen un total de 90 celdas trabajando en serie con una vlor de 0.46 volts por 0.6 amperes como máximo, teóricamente se tendrían 24.84 Watts, con 41.1 volts. Sustituyendo ecuaciones tendríamos que:

$$R = V^2 / P \quad [49]$$

$$R = (41.4^2)/24.84 = 60.18 \Omega$$

la resistencia teórica optima para los ensayos seria de 60.18 Ω . Comercialmente no existe dicha resistencia, por lo tanto se utilizó un arreglo en serie de resistencias de 10 Ω y 25 W. ya que las resistencia poseen un rango de error de $\pm 10\%$, la resistencia real obtenida fue de 76.3 Ω para un ensayo y 58.6 Ω para otro ensayo. Se midió la cantidad de radiación global con ayuda de un piranómetro y se determinó el voltaje y corriente generado contra la radiación.

Cabe señalar que las condiciones climáticas no fueron las óptimas, ya que se registraron variaciones en la cantidad de radiación global y por lo tanto, se veía afectado el desempeño de las celdas.

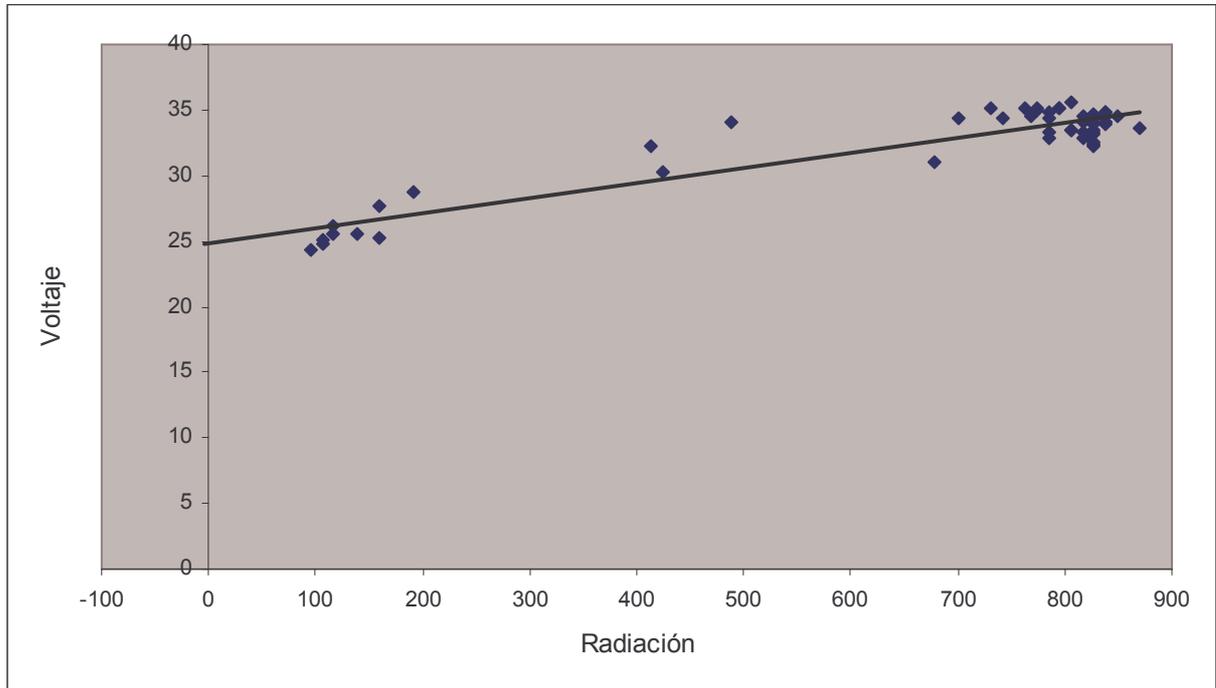


Figura 68 voltaje vs. radiación (W/m²). Orientación E-O, R=76.3 Ω

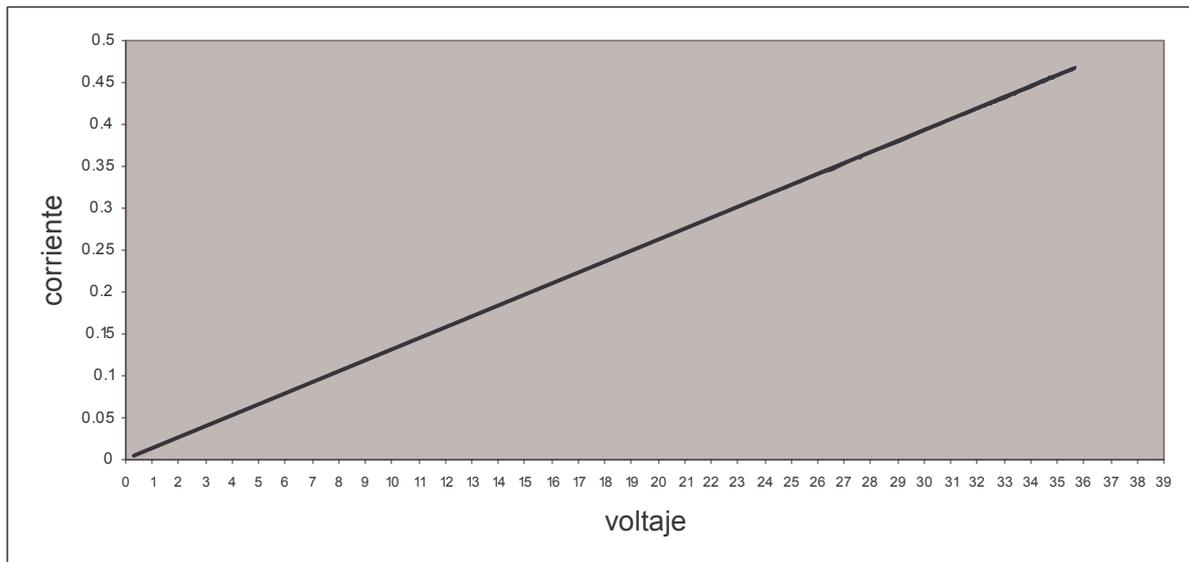


Figura 69 Corriente vs. voltaje. orientación E-O , R=76.3 Ω

Las gráficas anteriores (figura 68 y 69) corresponden al comportamiento de las celdas bajo una carga resistiva de 76.3 Ω y con una orientación de este-oeste. Los rangos de radiación registrados en el lapso de 5 horas que fue el tiempo que duro cada ensayo vario desde los 100 W/m² hasta un valor pico de 850 W/m², ya que las 2 curvas tienden a un comportamiento lineal, se realiza una extrapolación de datos obteniendo las graficas antes señaladas.

Para la orientación norte-sur, se ensayaron los paneles con la resistencia de 76.3Ω , obteniendo las siguientes gráficas.

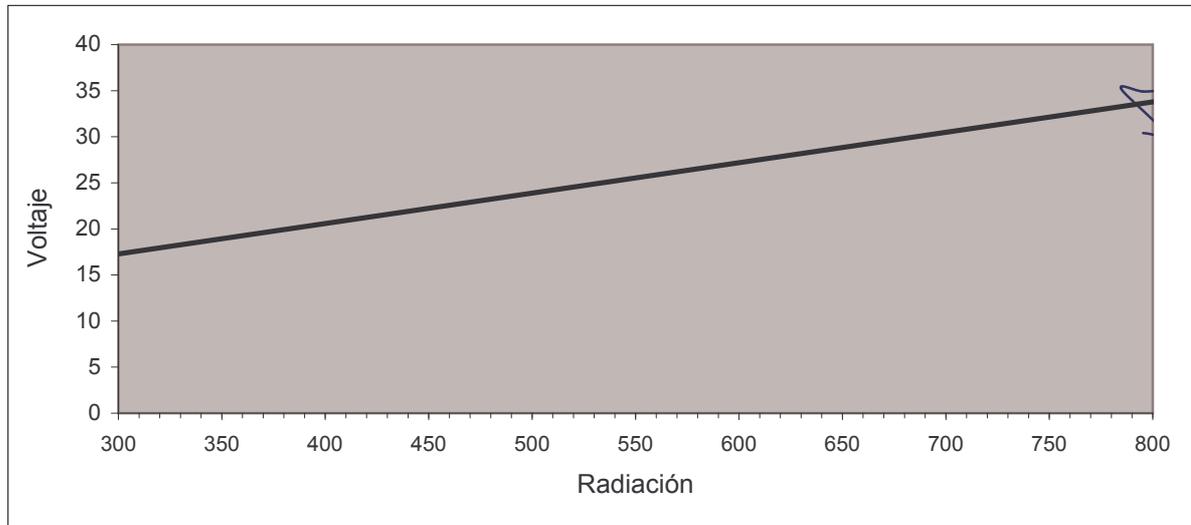


Figura 70 Voltaje vs. radiación(W/m²). Orientación N-S , R=76.3 Ω

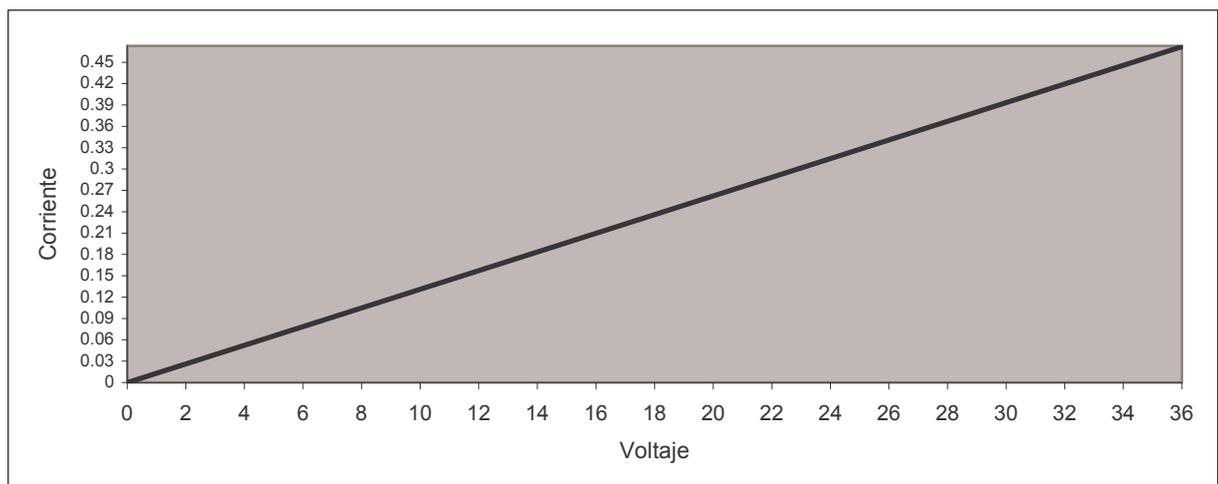


Figura 71 Voltaje vs. corriente. Orientación N-S , R=76.3 Ω

Los mismos ensayos se realizaron variando la resistencia de 76.3 a 58.3Ω . Obteniendo las siguientes gráficas de comportamiento.

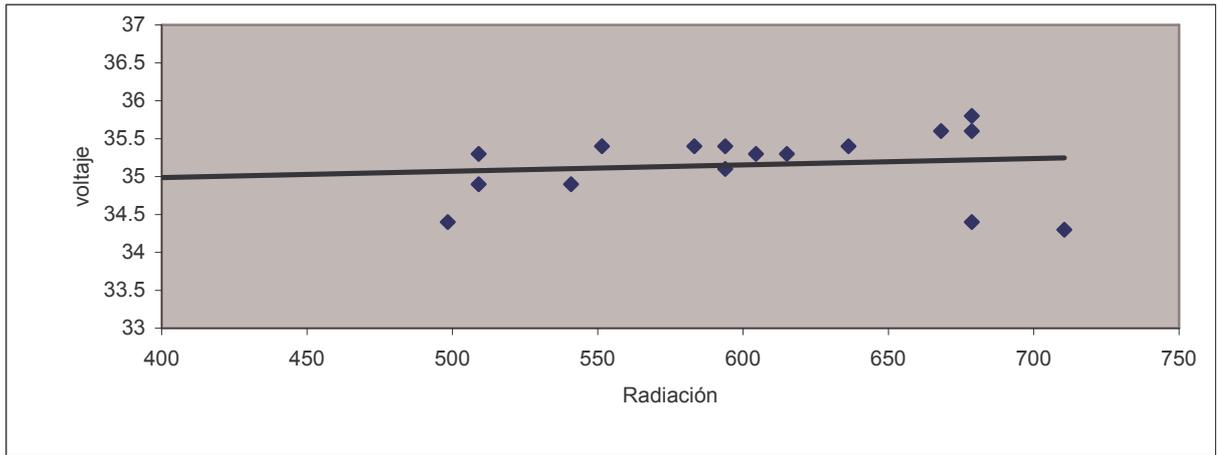


Figura 72 Voltaje vs. radiación(W/m2). Orientación E-O, R=58.3 Ω

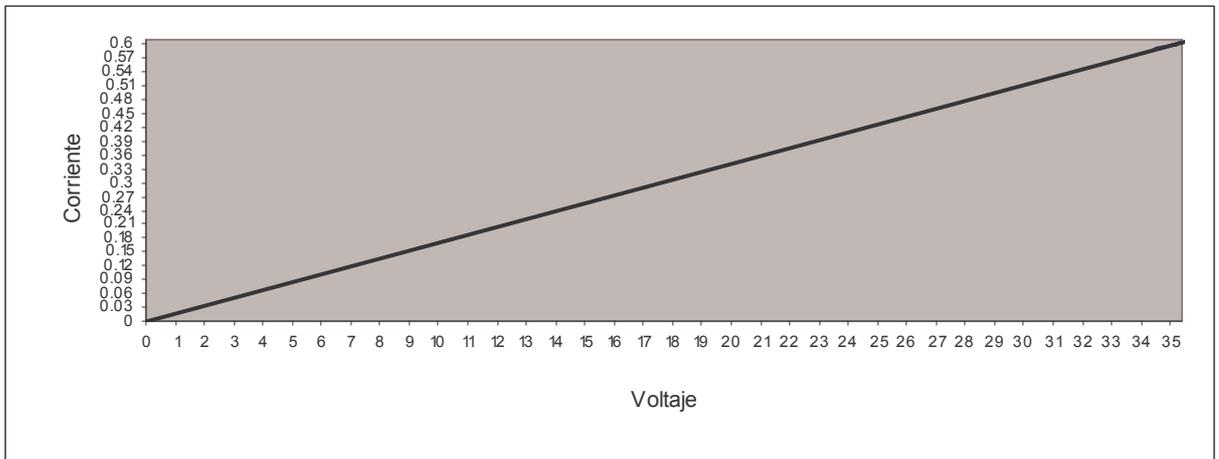


Figura 73 Voltaje vs. Corriente. Orientación E-O , R=58.3 Ω

Asi mismo, para la orientación norte-sur, se obtuvo lo siguiente:

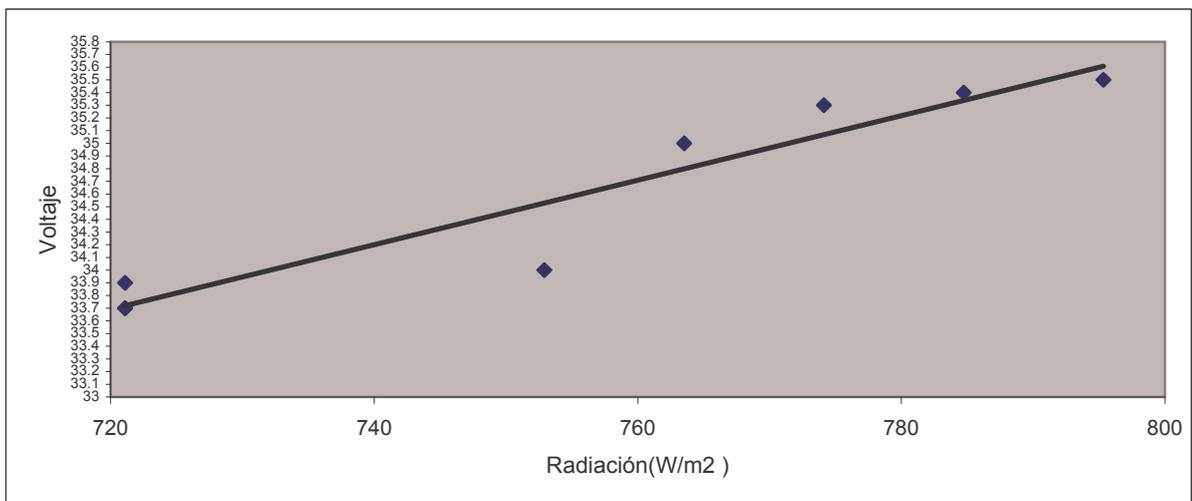


Figura 74 Voltaje vs. radiación (W/m2). Orientación N-S, R=58.3 Ω

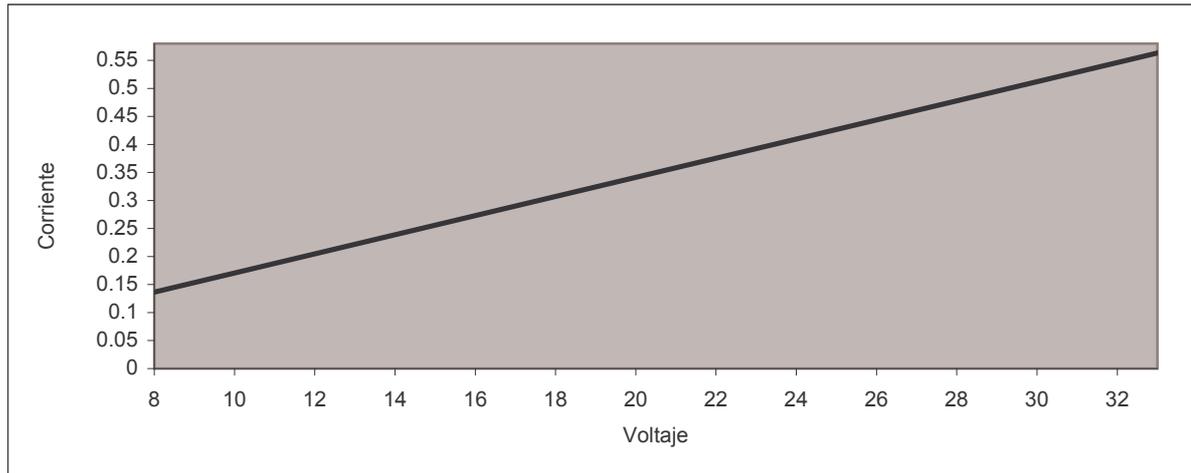


Figura 75 Voltaje vs. corriente. Orientación N-S , R=58.3 Ω

Se puede observar en las gráficas de radiación contra voltaje, que los datos están muy dispersos, esto nos indica una posible descalibración en el piranómetro utilizado, pero también, las gráficas muestran una tendencia aproximada al comportamiento del conjunto de celdas solares.

En todos los casos, desde las 10:30 AM hora local, hasta las 4:00 PM, se registró como lectura mínima de radiación 137.85 W/m^2 con un voltaje de 24.25V en la orientación este-oeste mientras que en la orientación norte sur se encontró un pico mínimo de 400 W/m^2 con un voltaje de 22.20 V. Esto demuestra que, una cantidad mayor de radiación incide sobre los paneles cuando estos se encuentran orientados de este a oeste, por lo consiguiente, generan mas voltaje que cuando están orientados de norte a sur, ya que en esta orientación, uno de los conjuntos de celdas solares se encuentra siempre en la sombra.

La corriente pico alcanzó un valor de 0.58 amperes y el voltaje máximo alcanzó los 36 V en la orientación de este a oeste con la carga resistiva de 58.3 Ω.

Se debe recordar que tanto el voltaje como la corriente generadas tiende a variar cuando se presentan factores climáticos tales como las nubes, o bien la temporada del año. Suponiendo condiciones promedio de operación obtendríamos 29 volts como máximo.

Se recordará que para recargar el conjunto de baterías era necesario suministrarle 13 V a cada una como mínimo, lo cual sumaría un total de 39 V. Es posible generar este voltaje cuando todo el conjunto de celdas solares se colocan horizontalmente o bien, aumentando el numero de las mismas, mas esto no resulta posible, ya en primer lugar se propuso utilizar espacios libres en el vehículo, sin que existieran estructuras que sobresalieran del armazón principal además de que por falta de presupuesto, no fue posible la adquisición de un mayos número de celdas solares. Aunque la orientación del conjunto de celdas solares fueran dispuestas a modo que la radiación incidiera de manera perpendicular a estos, la corriente máxima esperada sería de 0.6 amperes, lo cual duplicaría el tiempo normal de recarga del conjunto de baterías de 4 a 8 horas llegando a la misma conclusión: "El sistema existente de recarga fotovoltaica no logra cargar el conjunto de baterías al 100% de su capacidad debido a que el tiempo de soleamiento útil es insuficiente".

Una inversión de adicional de \$1300 nos proporcionaría un total de 31 módulos mas, y observando la tendencia promedio del conjunto de celdas, obtendríamos el voltaje mínimo requerido para recargar el conjunto de baterías, y tomando en cuenta que aun existe espacio libre en el vehículo, sería una solución viable.

Se propone utilizar el conjunto de paneles solares para recargar 2 baterías, ya que para este fin sólo se necesitan 26 V como mínimo los cuales pueden ser generados por el conjunto de celdas solares existentes.

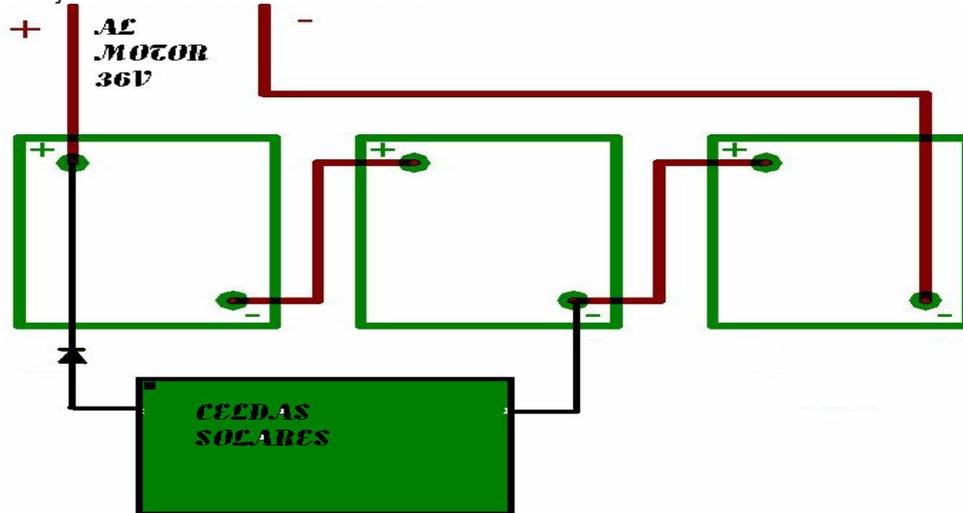


Figura 76 Esquema de conexión entre baterías y paneles solares

En la figura 76 se muestra el esquema básico de conexión entre las celdas y la batería, podemos observar que la colocación de un diodo zener de 26 V de propósito general es esencial para el buen funcionamiento del sistema ya que sin él, al encontrarse el sistema en condiciones de baja generación de voltaje, estas pueden absorber y disipar la carga de las baterías en forma de calor.

Ya que con una corriente de 1.2 amperes el conjunto de baterías tarda un promedio de 3 a 4 horas para recargar al 100%, se puede predecir que con la corriente generada, suponiendo los factores climáticos y de operación ideales, las 2 baterías conectadas a la fuente fotovoltaica tardarían un promedio de 9 horas para recargar al 100%, lo cual resulta imposible ya que los factores antes mencionados tienden a cambiar de forma caprichosa, además de que el tiempo de soleamiento útil, no alcanza el tiempo requerido.

Esto se pudo constatar de manera experimental, ya que en las pruebas realizadas, las condiciones optimas se encontraron entre las 10:30 de la mañana hasta las 4:30 de la tarde, observándose un decaimiento significativo en la generación de energía antes y después de las horas señaladas.

En este trabajo se puede asegurar que solamente con una inversión mayor (aproximadamente \$2500 que corresponden a 90 celdas fotovoltaicas mas) y la colocación de las celdas de manera que los rayos solares incidan de manera perpendicular a estas, se puede lograr el voltaje suficiente y la corriente óptima de recarga; con el fin de recargar las celdas en un tiempo promedio de 4 horas y sin que el conjunto de baterías sufra daño alguno a causa del calentamiento excesivo por recarga además de poder prescindir del dínamo como sistema auxiliar.

CAPITULO 7

EVALUACIÓN DE LA BICICLETA ELECTRICA SOLAR

En el presente capítulo, se analizará el sistema completo (bicicleta y sistema de recarga), y se obtendrán datos importantes que servirán para conocer el desempeño del vehículo con las mejoras propuestas en el proyecto.

Para este fin se construyó un banco de pruebas para poder evaluar el vehículo sin necesidad de mover el lugar de los ensayos y poder realizar las mediciones pertinentes sin que esto sea un riesgo para el conductor y para el equipo.

En el proceso de los ensayos, se encontraron varios problemas con el banco de ensayos, el más importante fue simular y duplicar de la manera más fidedigna, las condiciones de operación normales a las que estará sometido el vehículo, esto quiere decir, en términos generales, que se debe reproducir una fuerza de fricción similar a la ofrecida por el pavimento.

BANCO DE ENSAYOS

Para realizar las pruebas del vehículo, se construyó un banco de pruebas⁷ que consta de:

- 1.- Estructura metálica hecha con perfil cuadrado zintro-alum de 1 ½ x 2" de sección transversal.
- 2.- Longitud de la estructura: 1.57 m de largo x 0.59 m de ancho a los bordes externos y 0.51 m de ancho en los bordes internos.
- 3.- Soportes (4) para la estructura principal fijados con tornillos de ¼" x 2 ½ " en los extremos de la estructura principal hechos con perfil cuadrado zintro-alum de 1" x 1" de sección transversal.
- 4.- Soporte laterales para el vehículo a 60° con respecto a la horizontal fijados a la estructura principal con tornillos de ¼" x 2 ½ " en los extremos.
- 5.- 6 rodillos hechos con tubería galvanizada de $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ " cedula 40 de 0.5 m de long.
- 6.- 12 rodamientos tipo de bolas radial de $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ ".
- 7.- Ejes hechos con varilla roscada de $\varnothing \frac{1}{2}$ " x 0.63 m de longitud promedio.
- 8.- 12 bujes cónicos de bronce ajustables de $\varnothing \frac{1}{2}$ ".
- 9.- Banda de hule anti derrapante de 0.5 m x 3.20 m.

⁷ Los diagramas, planos de construcción y especificaciones del banco de ensayos se encuentran incluidos en la sección de adjuntos y en el subdirectorío con el mismo nombre incluido en el CD.

CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS.

El proceso de construcción del banco de ensayos consistió únicamente en el corte y ensamble de las piezas procurando no ajustar demasiado para evitar que las piezas rotatorias presentaran una fricción excesiva .

Para procurar una transmisión uniforme de la potencia en la rueda trasera de manera uniforme y simular las condiciones reales, se optó por la colocación de una banda de hule anti derrapante que hiciera contacto entre los rodillos y de esta forma, al posar el vehículo sobre el banco y activarlo, tanto la rueda trasera como la delantera tuvieran la misma velocidad y se movieran en condiciones similares.

La banda de hule anti derrapante en un principio ocupaba la totalidad del ancho del banco de ensayos y se probó la bicicleta sobre este. Se observó que la banda era demasiado pesada u ofrecía una gran resistencia al movimiento de la rueda del vehículo. Esto ocasionó que la banda no se deslizara de manera libre por sobre los rodillos.

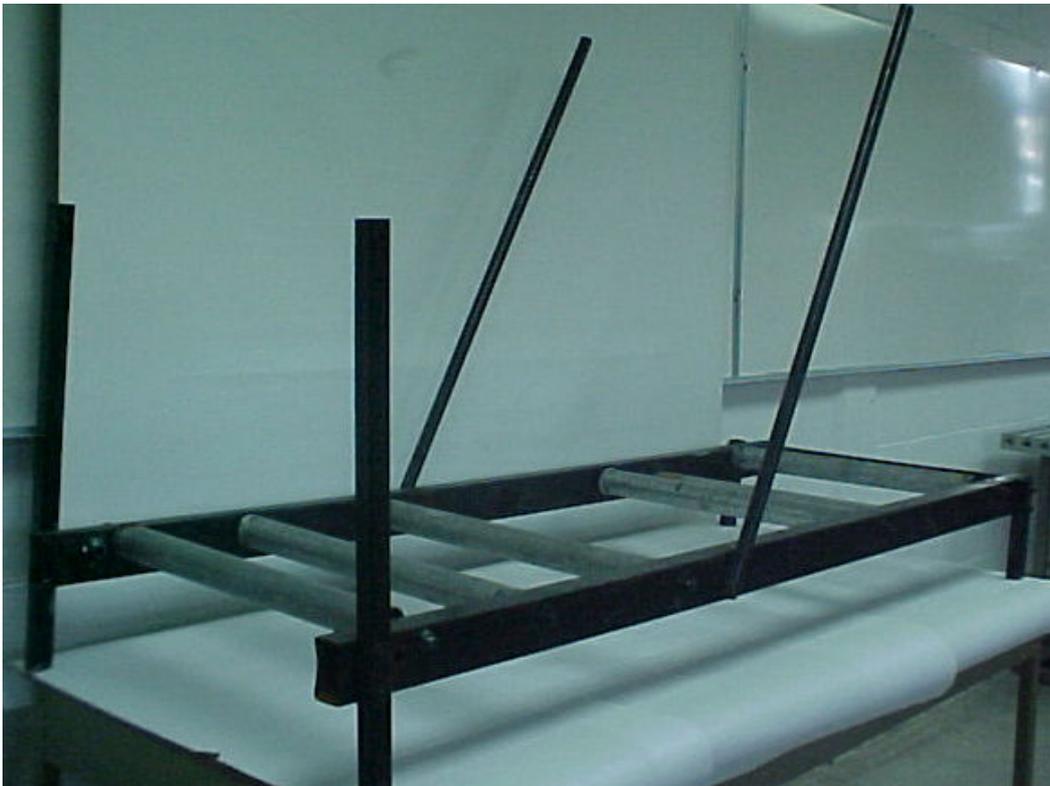


Figura 77 Banco de rodillos

Se probó con 2 configuraciones diferentes sin carga en el vehículo; tensando la banda y con la banda holgada.

En la primera configuración, la tensión forzaba de manera excesiva al motor del vehículo y la banda no corría libremente por los rodillos. En la segunda configuración, existió el problema de que al ser tracción delantera el vehículo, este hacía que la banda se arrugara por la parte central anulando toda efectividad de esta; por lo tanto, estas 2 opciones no resultaron viables ni apropiadas para los propósitos requeridos.

Se probó otra configuración, en donde la banda de hule no hiciera contacto sobre todos los rodillos, se redujo el ancho de la banda a 5 cm y se fijo el vehículo al banco de pruebas. Esta nueva configuración redujo de manera considerable el peso de la banda y la fuerza de fricción ejercida por la misma, al montar el vehículo en el banco de pruebas se observó que la autonomía era muy corta en comparación con la real⁸ sin cargar el vehículo. Al llegar a un tiempo promedio de operación de 22 minutos, la velocidad bajaba de manera súbita y el motor eléctrico se protegía por sobrecalentamiento interrumpiendo la alimentación, esto nos demuestra un esfuerzo excesivo desarrollado por la máquina, ya que en condiciones reales, la reducción de velocidad fue gradual desde un máximo hasta alcanzar una velocidad preestablecida mínima de 17 kph y el motor no se protegía. Este comportamiento se puede observar en las tablas 1 y 2 donde se probó el vehículo en las condiciones antes mencionadas.

Se probó con una diferente configuración, sin usar la banda de hule (Figura 77) y en su lugar, fijar el vehículo a la estructura por medio de bandas elásticas, para lograr las condiciones de operación mas cercanas a la realidad fue necesario realizar diferentes pruebas a distintas tensiones de las bandas elásticas para lograr las condiciones deseadas. (Figura 78).



Figura 78 Ajuste del vehículo con cintas elásticas

⁸ *La autonomía probada experimentalmente en campo fue de 14.4 km. Con un tiempo de 37.32 minutos y a una velocidad promedio de 23 KPH. La prueba se detuvo al llegar a la velocidad límite inferior preestablecida de 17 kph.*



Figura 79 Montaje de la bicicleta en banco de ensayos

LECTURA	TIEMPO(min.)	DIST (km.)	VEL (kph)	rpm	VOLTS	AMPERES
1	0	0	27.9	196	38.9	14
2	10	4.50	23.0	187	34.0	12
3	20	7.37	19	151	32.7	8

Tabla 8 En este primer ensayo al alcanzar los 13 minutos de funcionamiento el motor se detiene súbitamente y se desconecta la alimentación

LECTURA	TIEMPO(min.)	DIST (km)	VEL (kph)	rpm	VOLTS	AMPERES
1	0	0	28.5	236	38.3	9
2	5	2.49	28.5	229	35	8
3	10	4.7	28.1	225	34.4	7
4	15	7.03	25.5	205	31.5	7
5	20	8.81	22.5	180	28.2	7
6	23	9.98	13.6		28.2	6

Tabla 9 En este segundo ensayo se muestra un comportamiento similar al primer ensayo, al llegar a los 23 minutos de operación, la velocidad baja súbitamente a 0 kph y se corta la alimentación del motor gracias al protector térmico contra sobrecarga incluido en el mismo

LECTURA	TIEMPO(min.)	DIST (Km)	VEL (KPH)	RPM	VOLTS
1	0	0	28.1	225	34.9
2	3	1.45	28.9	232	35.8
3	6	2.94	29.4	236	35.7
4	9	4.30	28.8	232	35.3
5	12:20	5.95	28.9	229	35.00
6	16:00	7.70	28.5	229	34.3
7	21:30	10.35	28.1	222	31.1
8	26:00	12.44	25.1	202	28.9
8	30:00	14.06	24.2	194	28.7
10	35:00	15.18	23.3	185	28.5

Tabla 10 Tendencia aproximada a la realidad en banco de pruebas

En la tabla 10, se puede observar una tendencia mas aproximada a la realidad, esto se logró variando la tensión en las cintas elásticas y plásticas que sirvieron para fijar el vehículo al banco de ensayos, aunque esta por debajo de la medida real, esta medida sirve para otorgar un rango de seguridad apropiado.

Ya que el tiempo de duración de las pruebas sobre el banco de ensayos es muy limitado, en este caso, el banco de pruebas construido es inoperable para los ensayos con los sistemas de recarga los cuales requieren de un tiempo prolongado para observar cambios significativos en las lecturas. Como se concluyo en capítulos anteriores, ni los paneles solares ni el dinamo por si solos pueden recargar el conjunto de baterías al 100 % en tan poco tiempo, por lo cual se optó por realizar pruebas en campo, esto quiere decir que se probaron los elementos de recarga auxiliar en condiciones reales de funcionamiento uno a uno y posteriormente como un conjunto.

ENSAYO CON DÍNAMO

Bajo estas condiciones se comenzó a evaluar al dínamo. Las lecturas obtenidas demostraron que usando solamente el dinamo no se podría recargar el conjunto de baterías, ya que para ser esto posible, seria necesario mantener una velocidad aproximada de 38 a 40 KPH por un lapso de tiempo aproximado de 6 horas de uso continuo.

Ya que esta solución de recarga no resultó viable, se omiten los resultados y valores obtenido en las mediciones en el banco de pruebas por carecer de valor informativo para el presente proyecto.

Se optó por recargar una batería del conjunto de 3 utilizando el dínamo, ya que la tendencia de generación de voltaje es lineal, esto nos dice que si se mantiene una velocidad constante de 17 KPH es sobradamente suficiente para recargar una sola batería del conjunto, ya que el conjunto se debe de recargar a un voltaje de 39 ± 1 V, esto quiere decir que cada batería requiere de 13 ± 1 V para lograr su recarga óptima.

Para estos ensayos, fue necesario operar el vehículo en condiciones reales de funcionamiento, esto quiere decir, que se recorrió una distancia determinada con el vehículo teniendo al conjunto de baterías descargado; de esta forma, se puede observar la tendencia y los efectos que tiene el dínamo sobre el sistema. Hay que recordar que el dínamo solo recarga una batería del conjunto de 3, ya que como se observó en capítulos anteriores, la tendencia de generación de carga con el dínamo es casi proporcional a la velocidad lineal con que se mueve la bicicleta.

DATOS DE LA PRUEBA:

- * Distancia recorrida: 21.09 km.
- * Tiempo que duró la prueba: 1 hora, 21 minutos.
- * Velocidad máxima alcanzada: 32.3 kph.
- * Velocidad promedio: 15.5 kph

El tiempo de recorrido y la velocidad promedio son parámetros que pueden variar conforme la condición física de usuario; mas esto implicaría un desgaste físico mayor al mantener la velocidad lineal constante por arriba de los 17 KPH lo cual es innecesario, ya que con mantener una velocidad máxima de 17 KPH hasta los 15 KPH es suficiente para generar el voltaje de recarga de la batería (13 V \pm 1 V); el valor del diodo zener usado para controlar y proteger la recarga del dinamo esta estimado

según el fabricante en 15 V +/- 5% a 50 W esto es un rango de 14.25 V a 15.75 V, por lo tanto, no permite el paso de un voltaje mayor al rango establecido y un aumento en la velocidad solo conllevaría a un desgaste físico mayor y una deficiente recarga de la batería.

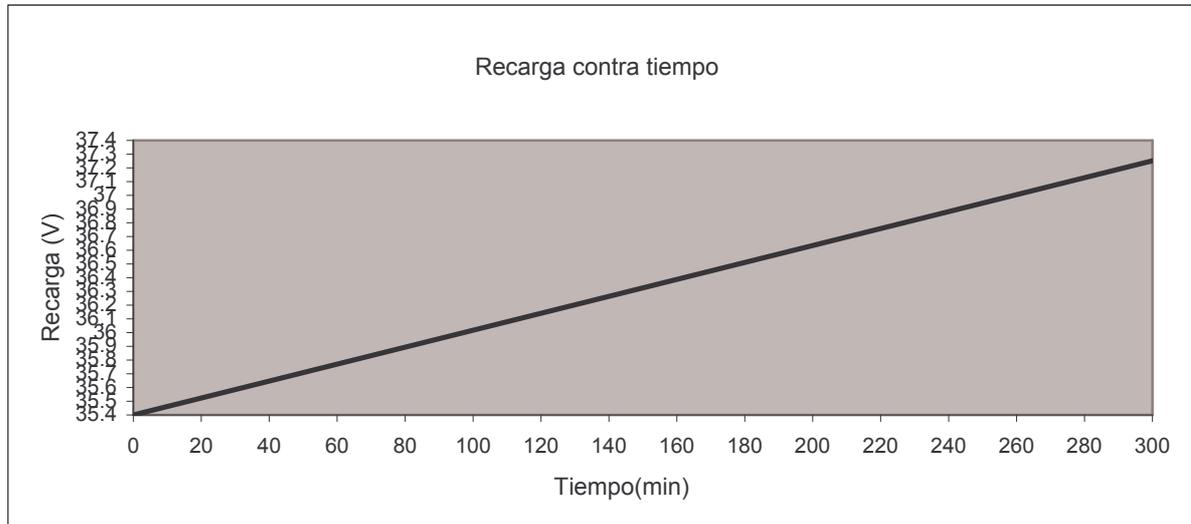


Figura 80 Recarga de batería contra tiempo de operación

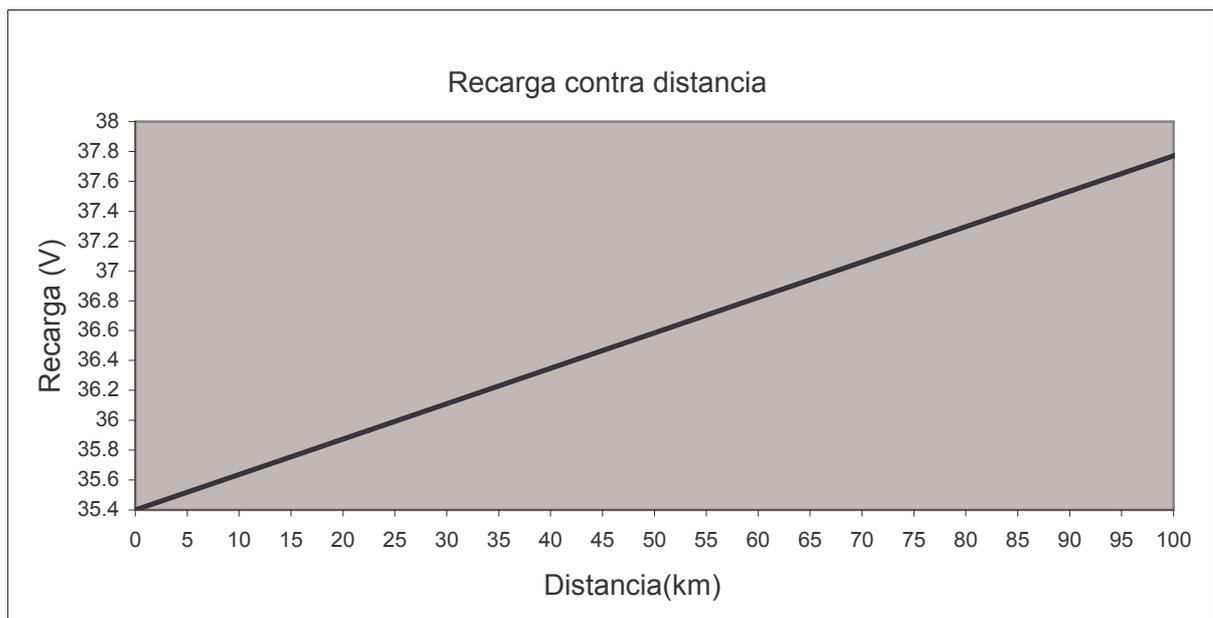


Figura 81 Recarga de batería contra distancia recorrida

Se observa en las gráficas anteriores que la aportación de recarga que tiene el dínamo sobre el conjunto de baterías es mínimo con una ecuación lineal $Y = 0.0237X$ en recarga contra distancia y $Y = 0.0062X$ para recarga contra tiempo. Esto nos indica que la aportación de recarga en un recorrido de 10 km a una velocidad promedio de 15 V sería de 0.237 V o bien, que para un recorrido con duración de 300 minutos (5 horas) de pedaleo constante a una velocidad promedio de 15 kph se aportaría una recarga al sistema de 1.86 V.

Estos resultados nos dan una idea del tiempo y distancia a pedalear para lograr una recarga en el sistema.

ENSAYO CON CELDAS

El diagrama de conexión del sistema se muestra a continuación. En esta configuración el dínamo se conecta a una batería del conjunto y los paneles solares a las 2 baterías restantes, protegiendo estos elementos de recarga con diodos zener de la capacidad apropiada para cada fin, esto para evitar posibles retornos de energía y pérdidas de la misma. (Figura 82).

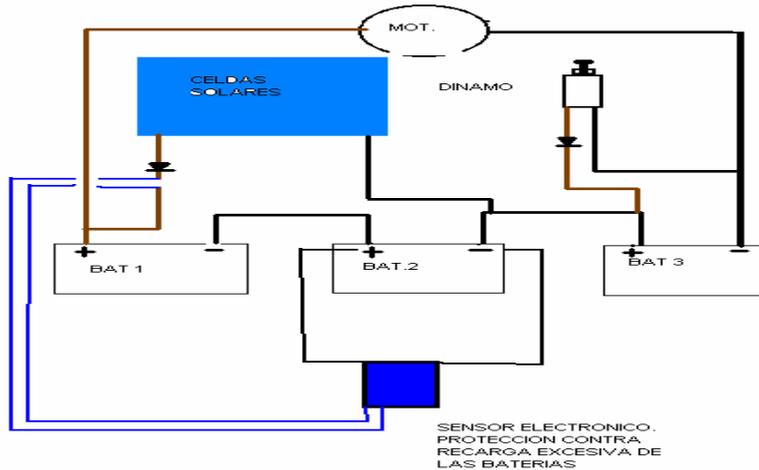


Figura 82 Diagrama básico de conexión de elementos de protección y recarga auxiliar

En esta sección, se ensayó el sistema completo con el conjunto de celdas solares para observar su efecto en el sistema (Figura 83 y 84). En el capítulo anterior se llegó a la conclusión que debido a la orientación variable de los paneles solares y a su ángulo de inclinación con respecto a la horizontal el voltaje generado resultó insuficiente para recargar el conjunto completo de baterías, pero se decidió utilizar el conjunto de paneles para recargar 2 baterías, ya que el voltaje generado es suficiente para este fin.



Figura 83 Vista de paneles solares montados en el vehículo

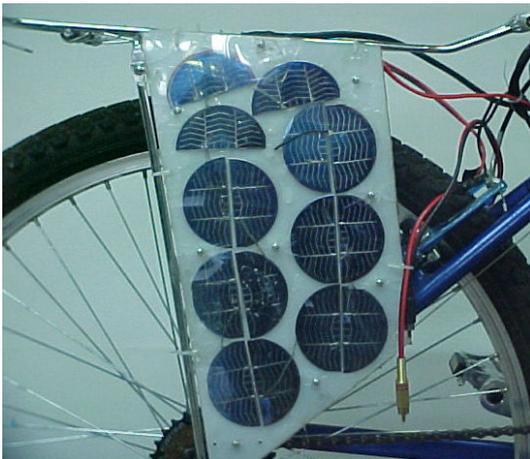


Figura 84 Vista de paneles solares montados en el vehículo

Para este ensayo fue necesario descargar el conjunto de baterías hasta un valor determinado y conectar los paneles al conjunto de baterías y observar la tendencia de la recarga, ya que para que los paneles solares funcionen, no es necesario mantener el vehículo en movimiento, los ensayos se realizaron con el vehículo en reposo y en cada toma de lecturas, se hizo variar arbitrariamente la orientación de los paneles solares.

La tendencia de la recarga se representa en la siguiente gráfica:

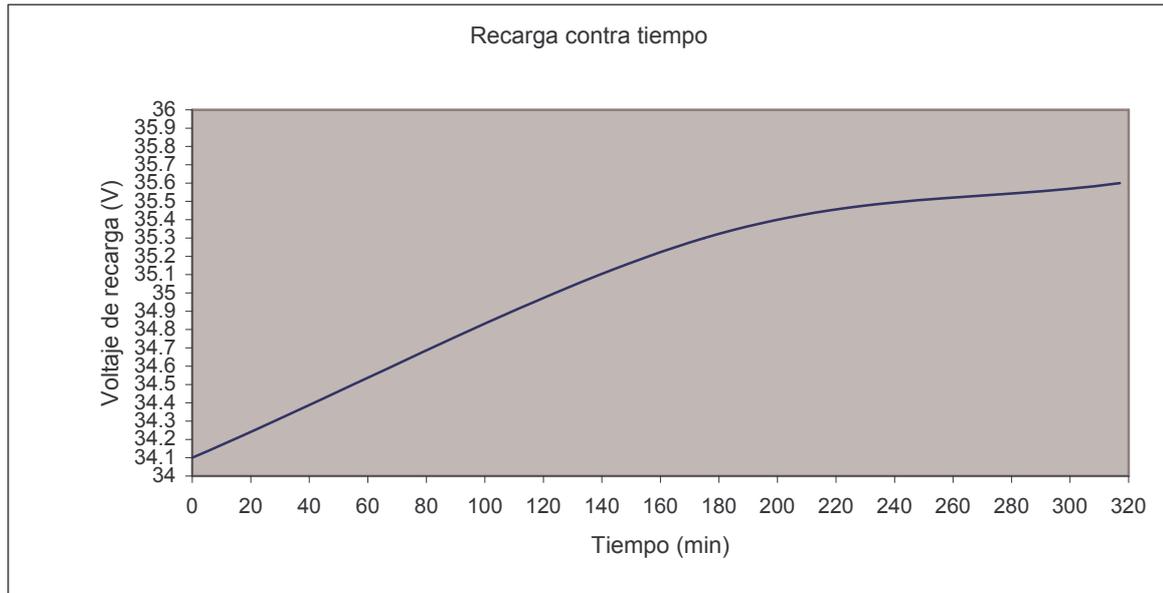


Figura 85 Recarga de la batería contra tiempo de exposición a la radiación solar

Estas pruebas se realizaron bajo condiciones climáticas aceptables, con poca nubosidad en el cielo desde las 10:43 AM hasta las 4:00 PM, tiempo en el cual se observó un decaimiento mínimo en la radiación solar.

Podemos observar que después de un lapso de 317 minutos (5.28 horas) de exposición a la radiación solar, la aportación de recarga al sistema es de 1.5 volts. La curva representativa de recarga presenta un punto máximo y posteriormente un decaimiento debido a que después de las 4:00 PM, la radiación solar tiende a bajar considerablemente además, que debido al calentamiento de las celdas solares, estas tienden a reducir su eficiencia y por lo tanto, su aportación de recarga al sistema.

Esto indica que después de un tiempo de funcionamiento de más de 300 minutos, el sistema de recarga solar tiende a recargar el sistema más lentamente. Como pudimos observar en anteriores capítulos, este tiempo puede variar dependiendo de la cantidad de radiación solar captada por los paneles solares; las mediciones se tomaron con una radiación promedio de 800 W/m^2 .

ENSAYO CON CELDAS Y DÍNAMO

Estas pruebas se llevaron a cabo en condiciones reales de funcionamiento desde las 10:00 AM hasta las 11:30 PM, esto con el fin de observar la tendencia de recarga del conjunto completo (dínamo +celdas solares) sobre el sistema.

Para este fin, se procuró tener el conjunto de baterías descargadas hasta un nivel promedio de 28 V (esta es la carga mínima de las baterías para alcanzar la velocidad mínima preestablecida de 17 kph) y se realizó un recorrido de 21.5 km. en un tiempo de 1 hora 30 minutos con una velocidad promedio de 15.5 kph.

La tendencia de la recarga sobre el conjunto de baterías se muestra a continuación en la siguiente gráfica:

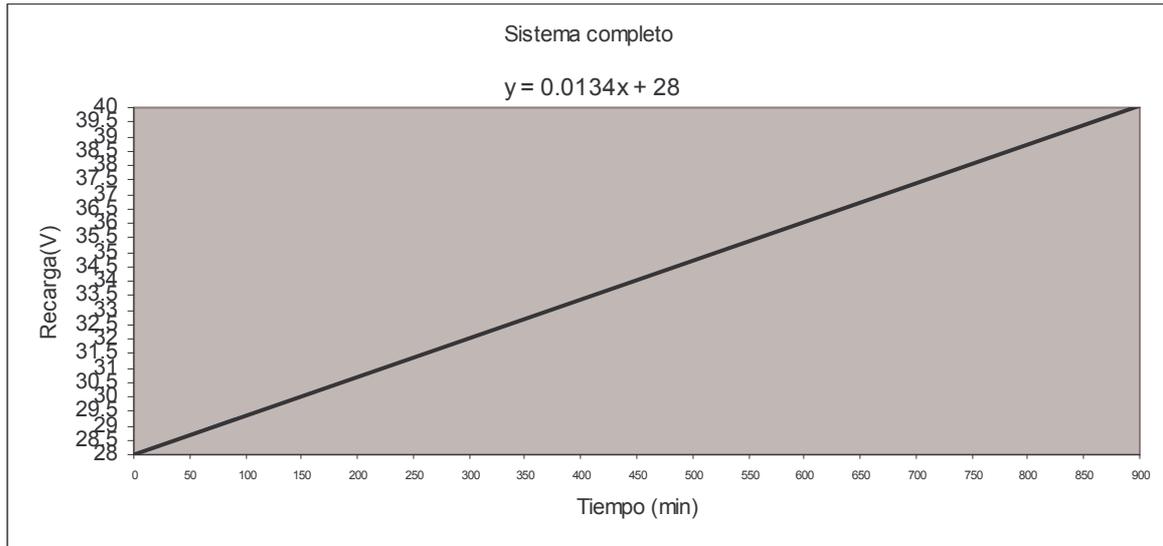


Figura 86 Recarga del sistema completo Dinamo + celdas solares contra tiempo de operación

Se observa en las pruebas del sistema completo que el dínamo y las celdas solares trabajando en conjunto son insuficientes para recargar el conjunto de baterías en un tiempo que se consideraría óptimo.

Si tomamos como base que el conjunto de baterías tarda un promedio de 3 horas en recargar a una corriente de 1.2 A, se esperaría que el sistema de recarga auxiliar de la bicicleta eléctrica igualara o mejorara el tiempo de recarga a la mitad o en menor tiempo. Haciendo una comparativa entre el tiempo óptimo de recarga (3 horas) y el tiempo que tarda en cargar al conjunto de baterías el sistema de recarga dínamo + paneles solares, en los 180 minutos de operación solo se lograrían un incremento de 2.412 V. Esto quiere decir, que para recargar desde el valor mínimo preestablecido de voltaje (28 V) hasta el valor máximo de recarga (40 V), sería necesario un tiempo de operación del sistema auxiliar de recarga de 900 minutos (15 horas) continuas, lo cual resultaría en extremo difícil debido al desgaste físico del usuario y al tiempo promedio de soleamiento.

Podemos tomar un promedio de 6 horas útiles de soleamiento, desde las 10:00 AM hasta las 4:00 PM, lo cual nos proporcionaría 360 minutos útiles de recarga. Esto representaría un incremento de 4.28 V.

Si consideramos que el 100% de recarga del conjunto de baterías es de 40 V, entonces, 28V (carga mínima del conjunto de baterías) + 4.28 V (aporte en 6 horas de funcionamiento) = 32.28 V; lo que representa un incremento del 17.7 % de la recarga máxima requerida.

En el capítulo referido al ensayo de celdas solares, se pudo concluir que con una inversión mayor en celdas solares se puede mejorar y reducir el tiempo de recarga del sistema mas sin embargo, si se quisiera mejorar el rendimiento de la recarga con el dínamo, sería necesario adquirir un generador de corriente directa de mayor capacidad o bien, 2 generadores similares al existente, esto implicaría un aumento en la fricción de la rueda contra los generadores consumiendo mas potencia en el motor y un mayor desgaste físico al pedalear.

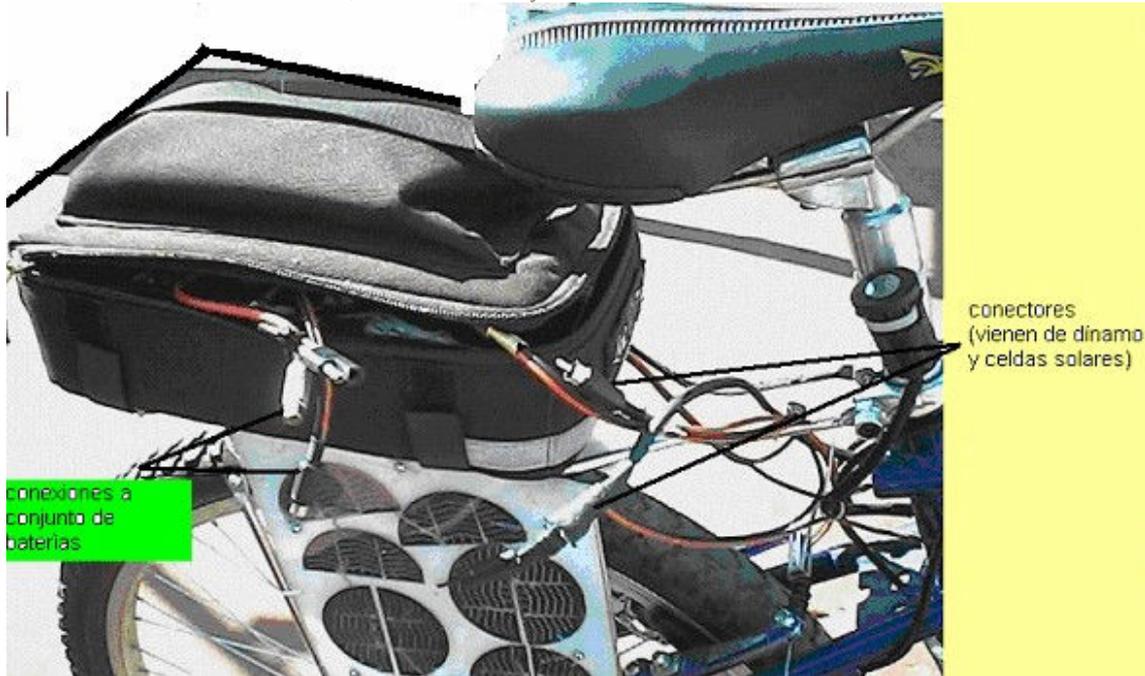


Figura 87 Detalle de conexión de celdas solares y dinamo al conjunto de baterías

Hay que recordar que el uso de los paneles solares está limitado por las condiciones climáticas ya que este sistema es ineficaz en las noches y en días donde exista una alta nubosidad. En el caso del dinamo, se observó que para alcanzar la recarga máxima se necesitaría pedalear un tiempo aproximado 1900 minutos (31.66 horas) o bien una distancia aproximada de 506 Km a una velocidad promedio de 15 KPH, lo cual, debido al peso neto del vehículo, implicaría un alto desgaste físico.

CAPITULO 8

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los objetivos de la propuesta de proyecto terminal fueron cubiertos satisfactoriamente, aumentando la autonomía del vehículo y mejorando el sistema de propulsión propuesto en otros proyectos (transmisión por cadena) reduciendo la fricción provocada por elementos mecánicos.

El costo del vehículo se mantuvo en el rango previsto, pese a que se invirtieron cantidades extras en la construcción del banco de pruebas y en el costo del motor, que, por ser de tecnología extranjera, fue necesario importarlo desde Estado Unidos.

Esto debido a que en México, los motores de corriente directa son de difícil adquisición y por lo tanto, con un precio elevado.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD

A continuación se mencionarán algunas propuestas para el diseño en futuros proyectos similares.

1.- Invertir en la adquisición de una mayor cantidad de paneles solares para aumentar el voltaje y la corriente generados.

2.- Se puede aumentar la eficiencia de los paneles solares si estos se orientan de tal forma que la radiación solar incida sobre ellos de forma perpendicular, esto conllevaría a incluir estructuras extras que sobresalgan de la figura normal de la bicicleta.

3.- Se puede adquirir un motor de corriente directa de características similares alimentado por 12 volts, esto reduciría el conjunto de baterías de tres a una sola y por lo tanto, se reduciría el peso del vehículo de forma considerable. Al reducir el voltaje, la corriente de consumo aumentaría, lo cual implicaría una diferente disposición de la conexión de los paneles solares.

4.- Se puede considerar la adquisición de un cuadro y accesorios de la bicicleta de fibra de carbono, lo cual, reduciría el peso del vehículo en un 10 %, aumentando su tiempo de autonomía y velocidad máxima. Esto implicaría una inversión extra de dinero de aproximadamente \$10,000.00 que es el valor comercial del cuadro.

5.- Se puede considerar el diseño de un vehículo de 3 o 4 ruedas (triciclo o miniauto) con una estructura ligera y resistente (aluminio) con una cubierta aerodinámica. Este tipo de vehículos presentan un área de captación solar mayor y por lo tanto, se puede considerar un vehículo el cual sea recargado al 100% por energía solar, además, la cubierta aerodinámica reduciría la fuerza de oposición que presenta el viento.

6.- Ya que la fricción en la rueda que presentan los dínamos comerciales es mínima se puede considerar el uso de mas de 1 generador de corriente directa (dínamo) y estudiar el efecto de recarga que tendrían estos en el conjunto de baterías.

7.- La fabricación de motores de corriente directa de velocidad variable, con las características similares al motor utilizado en el presente proyecto, es un mercado poco difundido en México. ya que un 50% del costo total del vehículo fue consumido



Diseño, construcción y evaluación de una bicicleta eléctrica solar.
en la compra del motor, los impuestos aduanales y el envío desde EE.UU., se puede considerar el estudio, diseño y fabricación de este tipo de motores, basándose en los ya existentes; de esta forma los costos se reducirían y el mercado se ampliaría considerablemente.



Diseño, construcción y evaluación de una bicicleta eléctrica solar.

ANEXOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cabot, J.T. (1989), "**La discreta y útil bicicleta**", Ciencia y Tecnología - Pequeños y Grandes Inventos.
- Manrique, José A., **Energía Solar**, Harla, 3ª. edición, México, 1984.
- Meinel, Aden, B., **Aplicaciones de la energía solar**, Revete, Barcelona, 1982.
- [2] Resnick, Robert. Halliday, David. **Física**, CECSA , 2ª. edición, México, 1974.
- Snowling, Steve. **Mecánica de las bicicletas en el taller y la competición**, Paidotribo, 2ª edición, Barcelona España, 1995.
- Toscaza. David, **Las bicicletas**, Consejo Nacional, México, 1992.
- [3] La Vanguardia, 4 de noviembre.
Equipo de Análisis Ecológicos (1986), "La bicicleta: el medio más saludable de desplazarse por la Ciudad", Integral (num.81), Barcelona, septiembre.
McGurn, J. (1987), On Your Bicycle: An Illustrated History of Cycling, John Murray pub. Ltd., London.
<http://www.currietech.com.au/products/uspd.htm#faq>
<http://ar.geocities.com/bicielectrica/bicielectrica.htm>

PROLOGO.....	1
Los medios de transporte.....	1
Historia de la bicicleta	2
Del celerífero a la draisiana.....	2
Velocípedo.....	3
Las llantas.....	4
Otros modelos.....	4
CAPITULO 1.....	6
INTRODUCCIÓN	6
Descripción del proyecto.....	6
ANTECEDENTES	7
ELEMENTOS DE POTENCIA Y CONTROL.....	8
Elementos de potencia (motor)	9
Principio de funcionamiento.....	9
Control del motor de f.e.m. senoidal.....	11
Control del motor de f.e.m. trapezoidal.....	11
Tendencias.....	12
Sistemas Solares Fotovoltaicos	13
Energía Solar. Recurso.....	15
PRINCIPIOS DE OPERACION Y CARACTERISTICAS.....	16
Efecto fotovoltaico.....	16
La celda fotovoltaica.....	16
Rendimiento del proceso fotovoltaico.....	16

Generador de corriente directa.....	16
Elementos de control automático.....	17
PRINCIPIOS BASICOS DE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES.....	18
El amplificador operacional ideal.....	18
Variadores de velocidad.....	19
CAPITULO 2.....	24
ANÁLISIS DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN	24
Análisis teórico para el cálculo del coeficiente de fricción.....	25
Análisis experimental para obtener el coeficiente de fricción entre la llanta y el piso.....	26
Determinación de la potencia del motor eléctrico.....	28
Selección del motor.....	29
CAPITULO 3.....	33
CONVERSIÓN DE LA BICICLETA ELÉCTRICA.....	33
Etapas de acondicionamiento.....	33
Instalación del motor.....	33
CAPITULO 4.....	38
SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE PROTECCIÓN.....	38
Protección electrónica contra sobrecarga del motor.....	38
Protección electrónica contra sobrecarga del conjunto de baterías.	41
CAPITULO 5.....	45
SISTEMA DE RECARGA AUXILIAR (DINAMO)	45
Recarga de baterías con generador. 45	
Ensamble del sistema de recarga con dinamo. 45	
Características del dinamo. 47	
CAPITULO 6.....	52
SISTEMA DE RECARGA AUXILIAR (SOLAR).....	52
Recarga de baterías con celdas solares. 52	
La celda Fotovoltaica 52	
Luz solar y celdas 52	
Insolación 53	
Rendimiento del proceso fotovoltaico 54	
CARACTERIZACIÓN DE LOS PÁNELES.....	55
Caracterización de celdas de silicio para su integración en módulos 55	
Geometría de las celdas 55	
Características V-I y Wp de las celdas 55	
Conexión de las celdas en serie o paralelo 55	
Caracterización de módulos 56	
Condiciones de prueba de los módulos57	
NOCT 57	
Factores que influyen el rendimiento de los módulos 57	
Efecto de radiación solar 57	
OCT 58	
Efectos de la temperatura de operación de las celdas58	
Efecto de las sombras 59	
Interacción del módulo con cargas	60
Carga resistiva 60	
Carga galvánica 60	
Determinación del número de celdas a utilizar 61	
Construcción de las celdas solares. 63	
Ensayo con celdas solares 66	
CAPITULO 7.....	72
EVALUACIÓN DE LA BICICLETA ELECTRICA SOLAR	72
Banco de ensayos 72	
Construcción del banco de ensayos. 73	



Diseño, construcción y evaluación de una bicicleta eléctrica solar.

Ensayo con dínamo	76	
Datos de la prueba:	76	
Ensayo con celdas	78	
Ensayo con celdas y dínamo	80	
Capitulo 8.....		83
Discusión de resultados.....		83
áreas de oportunidad	83	
ANEXOS.....		85
Referencias BIBLIOGRÁFICAS		86