



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Proyecto de tesis de grado:

TEMA: SISTEMA ELÉCTRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR PARA LA MOVILIZACIÓN DE UNA TRICICLETA SOLAR QUE REPRESENTARÁ A LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE - EXTENSIÓN LATACUNGA EN LA CARRERA “ATACAMA SOLAR CHALLENGE-CHILE”

AUTORES:

**ESPÍN ALVEAR, ANA GABRIELA
CHILQUINGA MENDOZA, CÉSAR IVÁN**

Director:

ING. FRANKLIN SILVA.

Codirector:

ING. DAVID RIVAS

Latacunga-Ecuador

Abril 2015

CARRERA ATACAMA SOLAR CHALLENGE

La idea nace de la Global Green Challenge que es una competencia de vehículos solares que se realiza a través de 3.021 km en el desierto de Australia, desde Darwin hasta Adelaida. Hans Tholstrup fue el primero en circunnavegar el continente australiano.



El desierto de Atacama cuenta con uno de los más altos niveles de radiación solar a nivel mundial. Atacama solar challenge es la primera competencia latinoamericana de vehículos impulsados por energía solar.



EDICIÓN 2014

El recorrido de esta edición se vuelve a concentrar entre las ciudades de Iquique, Calama y Antofagasta, abarcando el corazón del Desierto de Atacama y cubriendo todos sus escenarios. Consta de 4 días de competencia y una jornada libre.



ATACAMA SOLAR TEAM

Nace de la iniciativa de 8 estudiantes y el apoyo de varios docentes, quienes con visión emprendedora apostaron por este proyecto, está enfocada principalmente en el estudio y uso de Energías Renovables.

Este proyecto está dividido en 4 partes: el diseño de la estructura, sistema de frenos tracción mecánica, telemetría y el sistema de tracción eléctrica.





ESPE
REGIÓN POLITÉCNICA DEL DISTRITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

VEHÍCULO SOLAR

Con paneles que acumulan energía

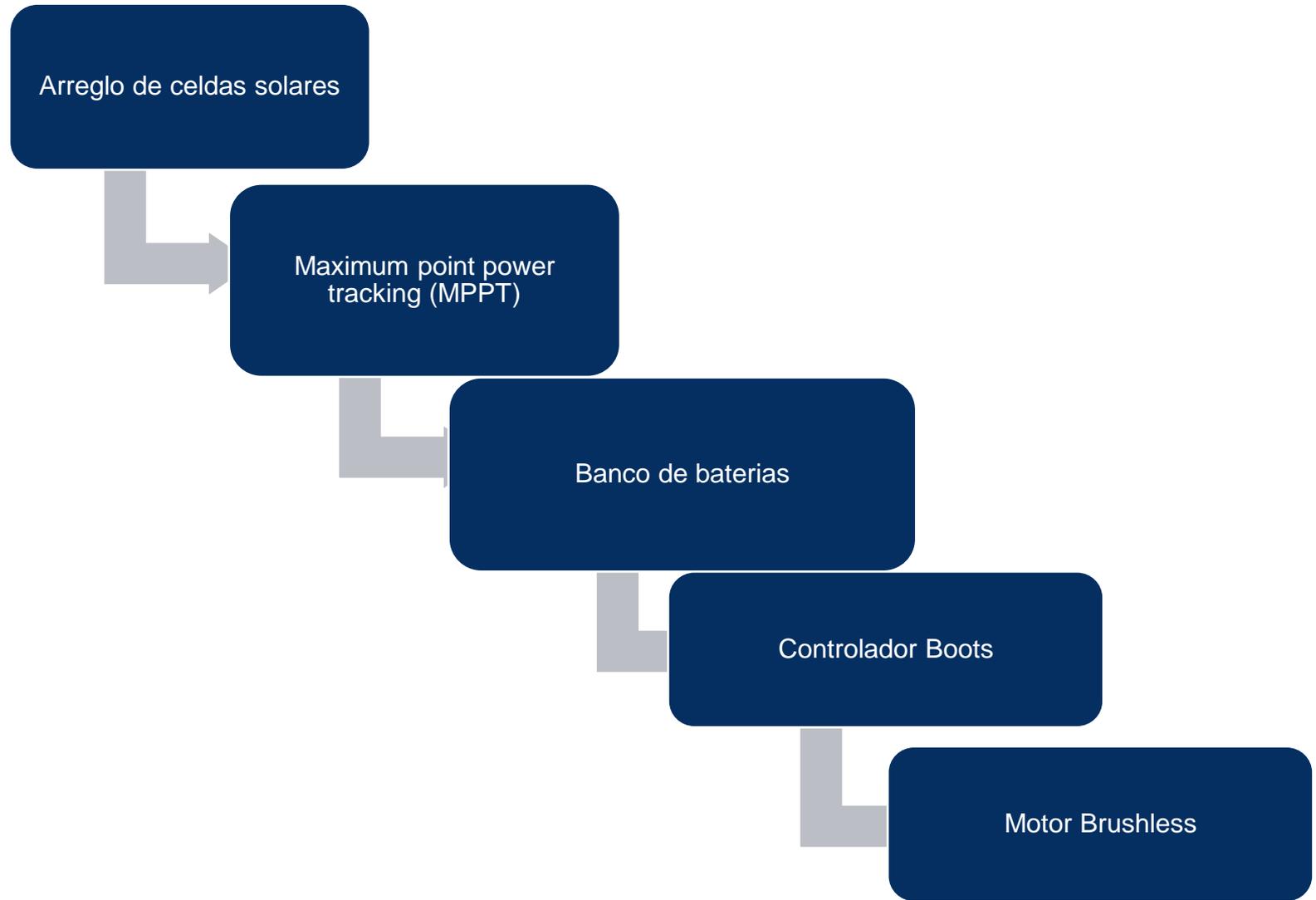
Es aquel que es impulsado por un motor eléctrico alimentado por energía solar fotovoltaica obtenida de paneles solares para acumular energía en una o varias baterías, aportando una gran parte de la energía que se requiere para el funcionamiento del motor.



LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

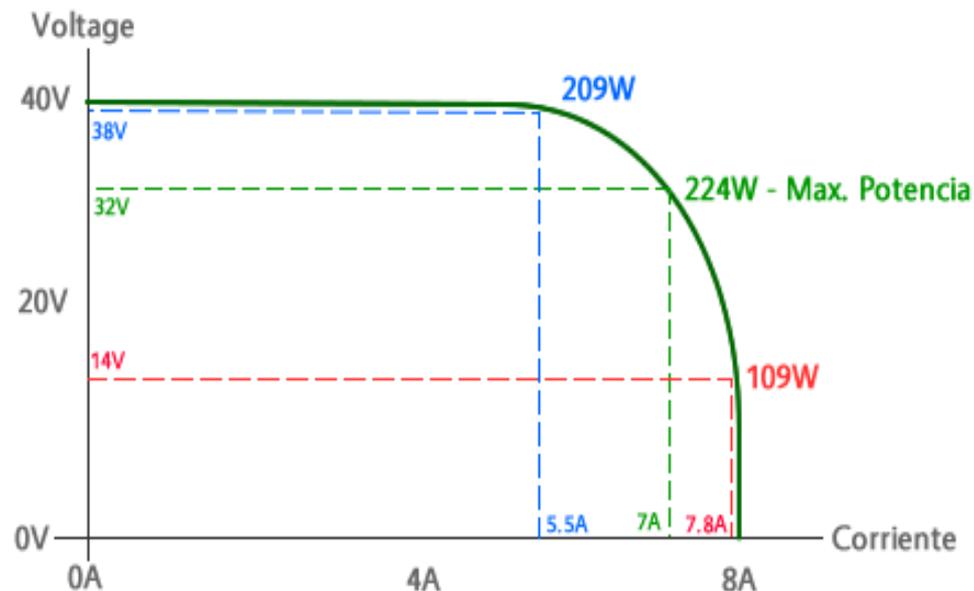
Es el efecto fotoeléctrico, que consiste en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se consigue con materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Las células fotovoltaicas reciben un tratamiento químico especial para formar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro.





EL MPPT

Siempre buscan el balance entre voltaje y corriente en el que los paneles solares operan a su máxima potencia. Si utilizamos una curva que grafica el voltaje y la corriente de un panel solar, el punto de máxima potencia se encuentra en el centro de la curva



BATERÍAS

Las baterías de Ion de Litio son más pequeñas y pesan bastante menos que cualquier otro tipo de batería, con igual carga eléctrica.

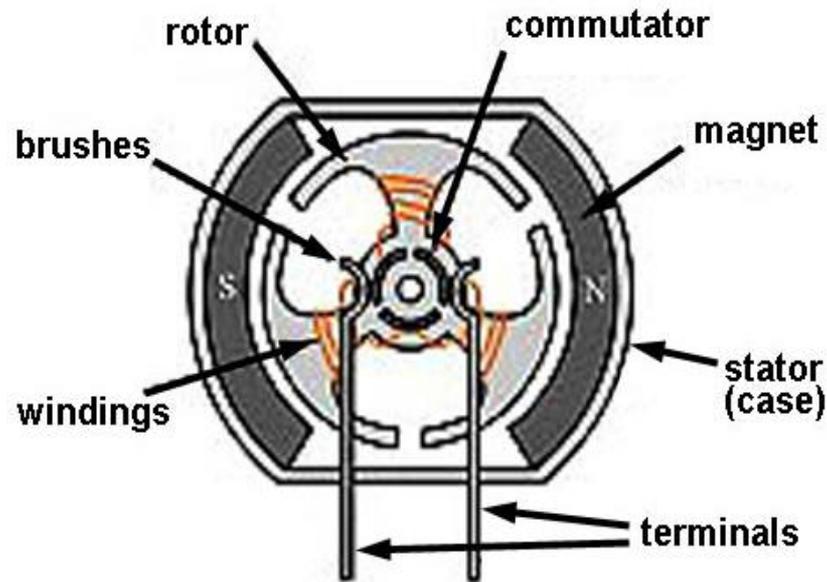
VENTAJAS

- Una elevada densidad de energía:
- Poco peso
- Gran capacidad de descarga
- Mínimo efecto memoria
- Vida útil



MOTOR ELÉCTRICO

Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas



CÁLCULOS Y SELECCIÓN

| Carga muerta | Masa (Kg) |
|-----------------------------------|-----------|
| Estructura tubular o bastidor | 45 |
| Sistema de transmisión y pedales | 8 |
| Carrocería | 18 |
| Sistema de frenos | 5 |
| Suspensión | 4 |
| Sistema de dirección | 4 |
| Llantas de bicicleta | 13 |
| Sistema de cambios de velocidades | 2 |
| Sistema eléctrico | 4 |
| Celdas fotovoltaicas | 3 |
| Baterías | 9 |
| Convertidores, controladores | 5 |
| Total | 120 |



| CARGAS VIVAS | Masa (Kg) |
|--------------------------|-----------|
| Persona Promedio | 80 |
| Motor Eléctrico de 1 KWh | 8 |
| Total | 88 |

$$Peso_{total\ cargas} = C.muertas + C.vivas$$

$$Peso_{total\ cargas} = 120 + 88$$

$$Peso_{total\ cargas} = 208\ kg$$



$$a = \frac{(vf - vin)}{t}$$

$$a = \frac{(40 \text{ Km/h})}{20s} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

$$T = 0,5 \times \text{masa} \times r^2 \times \frac{a}{r}$$

$$T = 0,5 \times \text{masa} \times r \times a$$

$$T = 0,5 \times 208 \text{kg} \times 0,33 \text{m} \times 0,5 \text{ m/s}^2 = 17,16 \text{ N.m}$$

Potencia = Torque \times velocidad angular(rpm)

$$w_{\theta} = \frac{\text{Velocidad}}{\text{Radio}}$$

$$w_{\theta} = \frac{40 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{0,33 \text{m}}$$

$$w_{\theta} = \frac{11,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,33 \text{m}} = 33,67 \text{ rpm}$$



Con una velocidad angular de $33,67 \text{ rpm}$ y un torque de $17,16 \text{ Nm}$ podemos calcular la potencia de salida que necesita el motor.

$$P = 17,16 \text{ Nm} \times 33,67 \text{ rpm}$$

$$P = 577,77 \text{ W}$$

Teniendo una potencia de salida de $577,77 \text{ W}$ y con una eficiencia del 72% se puede calcular la potencia de entrada para el motor.

$$n = \frac{\text{Pot salida}}{\text{Pot entrada}} \times 100\%$$

$$\text{Pot entrada} = \frac{577,77 \text{ W}}{72\%} \times 100\%$$

$$\text{Pot entrada} = 802,45 \text{ W}$$



Para un motor de 48 V

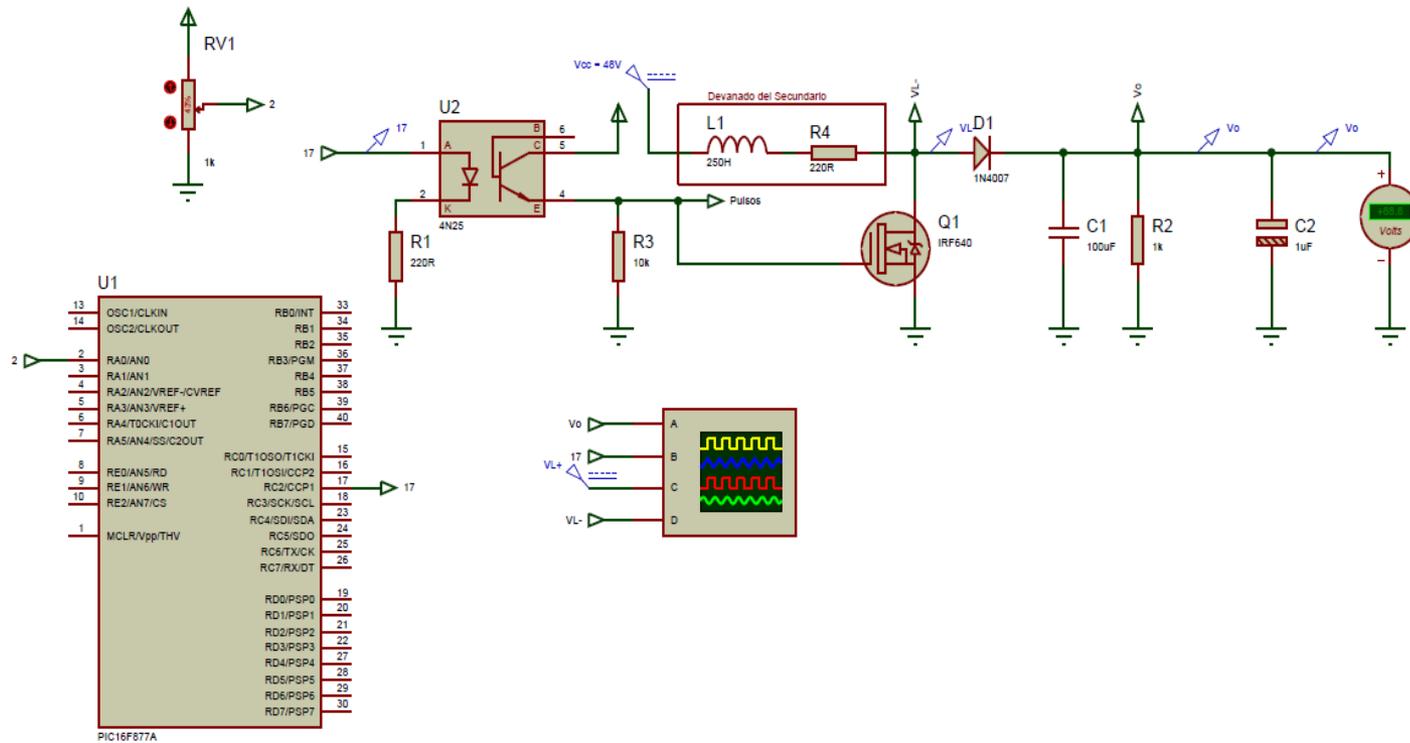
$$P = V \times I$$

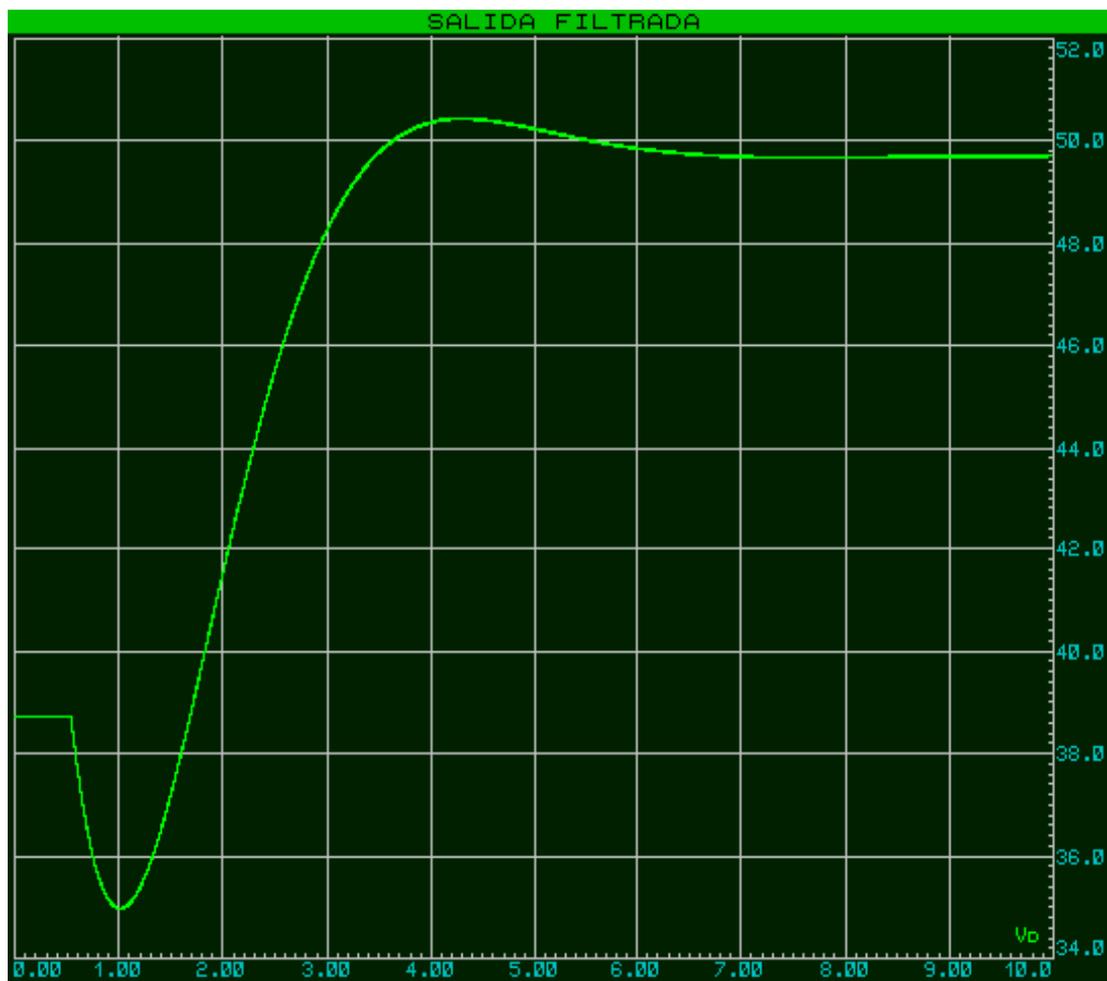
$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{802,45 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 16,7177 \text{ A}$$



CONTROLADOR DC-DC





BATERÍAS

$$\text{Capacidad de energía de batería} = V \times Ah$$

$$\text{Capacidad de energía de batería} = 48V \times 10Ah = \mathbf{480Wh}$$

Debido a que tenemos un motor que proporciona una potencia máxima de 1122,09 W y con el voltaje de almacenamiento en las baterías de 48V, podemos calcular su tiempo de descarga aproximado.

$$\frac{1122,09 \text{ w}}{48 \text{ V}} = 23,37A$$

$$\frac{10Ah}{23,37A} = 0,42 \text{ h} \times 60 \text{ min} = 25,67\text{min} \cong \mathbf{30 \text{ min}}$$



RÉGIMEN DE CARGA CON EL CARGADOR

Consideramos, que el tiempo de carga de una batería es de 3 Horas con el cargador cuyos datos de placa son 3A y 48V.

$$\textit{Tiempo carga} = \frac{\textit{Capacidad bateria}}{\textit{Capacidad cargador}}$$

$$\textit{Tiempo carga} = \frac{10Ah}{3A} \approx 3horas$$

RÉGIMEN DE CARGA CON PANELES SOLARES

Aplicando el mismo criterio con la cantidad de corriente que puede suministrar el arreglo fotovoltaico en un día promedio, se ha medido un valor promedio de 5.5A.

$$\textit{Tiempo carga} = \frac{\textit{Capacidad bateria}}{\textit{Capacidad cargador}}$$

$$\textit{Tiempo carga} = \frac{10Ah}{5.5A} \approx 1.8horas \approx 1hora 50min$$



Debemos conocer la potencia nominal máxima de entrada.

$$I_{RE} = I_{sc} \times 1,25$$

$$I_{RE} = 8,4 A \times 1,25$$

$$I_{RE} = 10,5A$$

$$P = I \times V$$

$$P = 10,5A \times 58V$$

$$P = 609 W$$

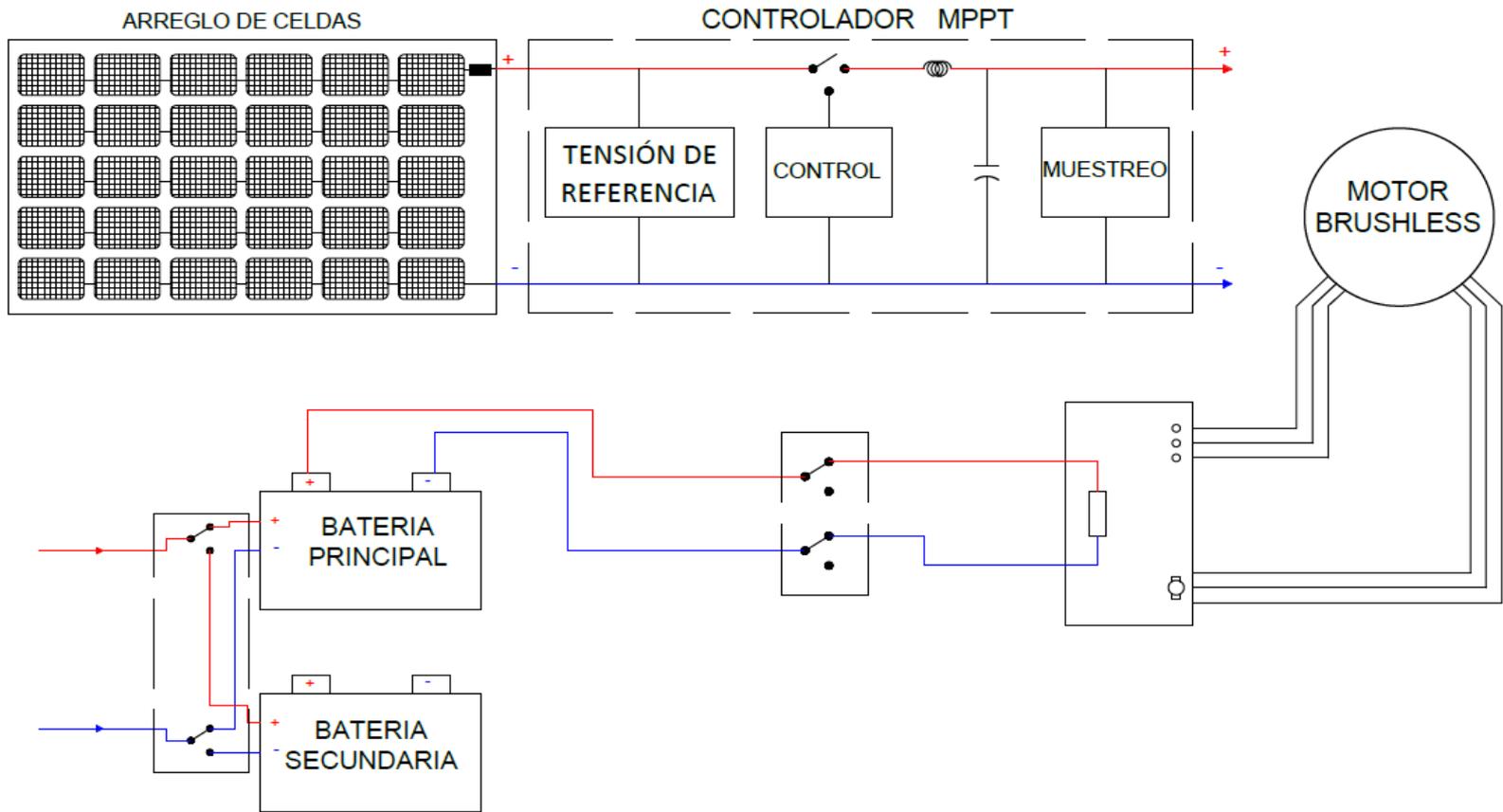
Mientras que la corriente máxima de salida se define por la siguiente ecuación:

$$I_{RS} = \frac{1,25 \times (P_{DC} + P_{AC}/n_{inv})}{V_{BAT}}$$

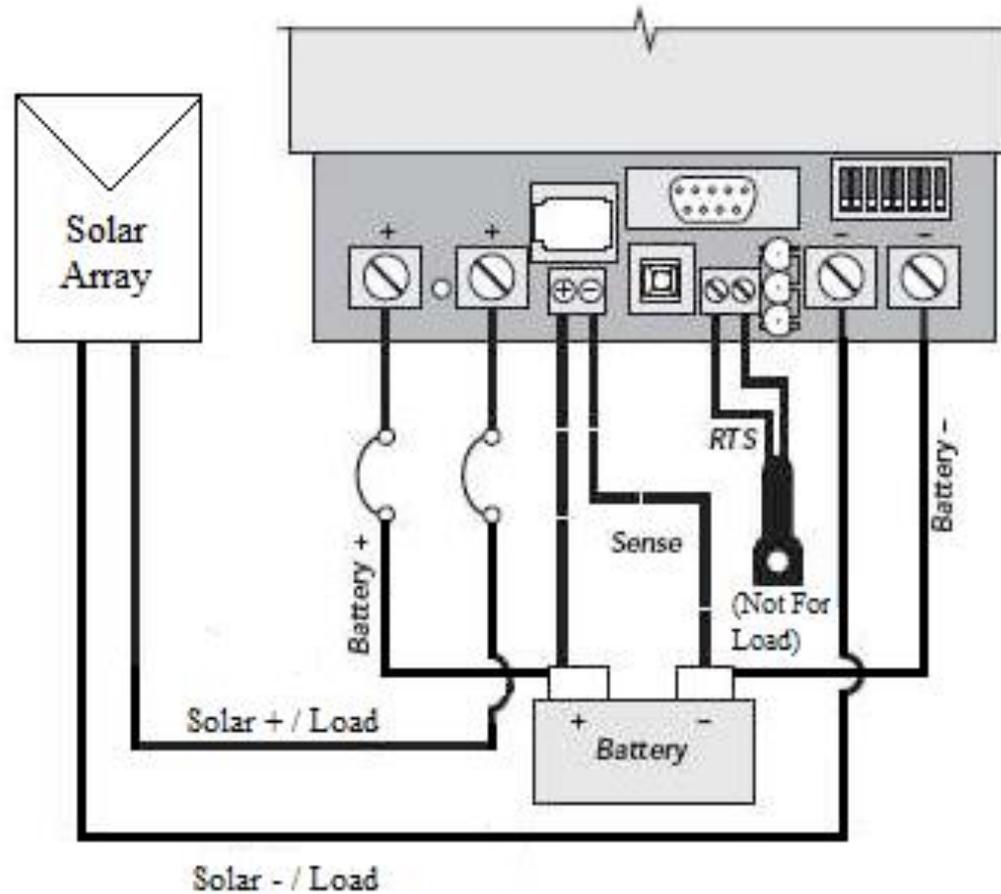
$$I_{RS} = \frac{1,25 \times (808.16/0,99)}{48 V} = 21,25 A$$



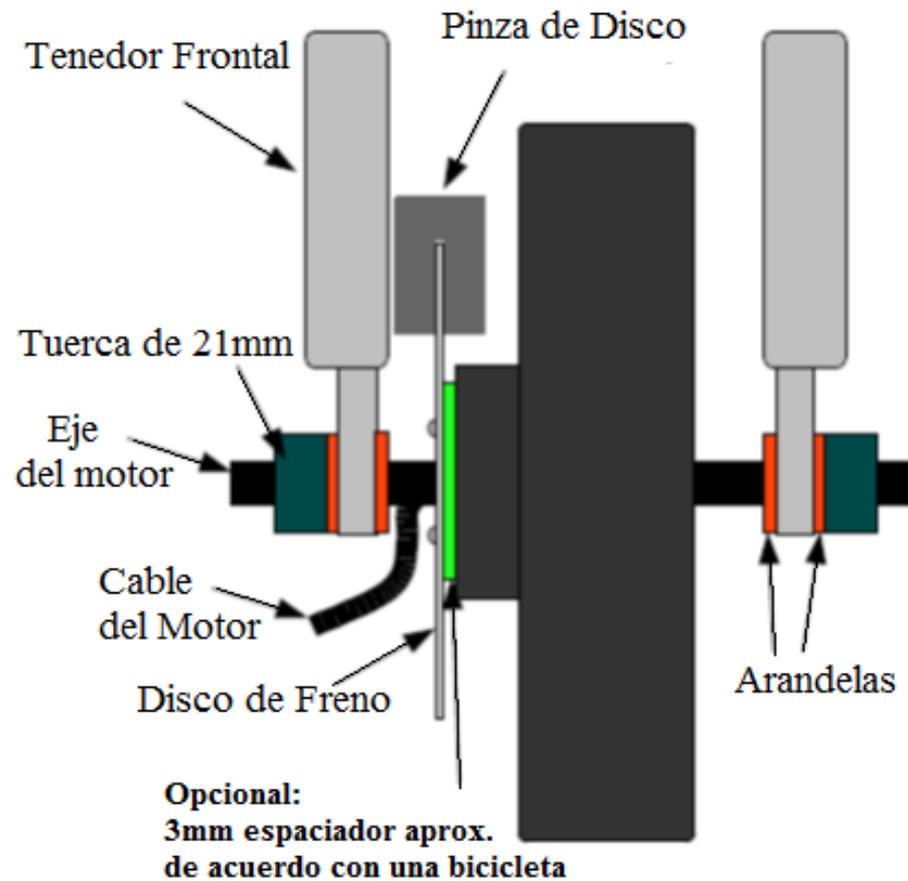
PLANO ELÉCTRICO



INSTALACIÓN MPPT



INSTALACIÓN MOTOR BRUSHLESS



CONTROLES DEL PANEL



Manija de freno
hidráulico delantero

Manija de freno
hidráulico posterior

Descarrilador
delantero

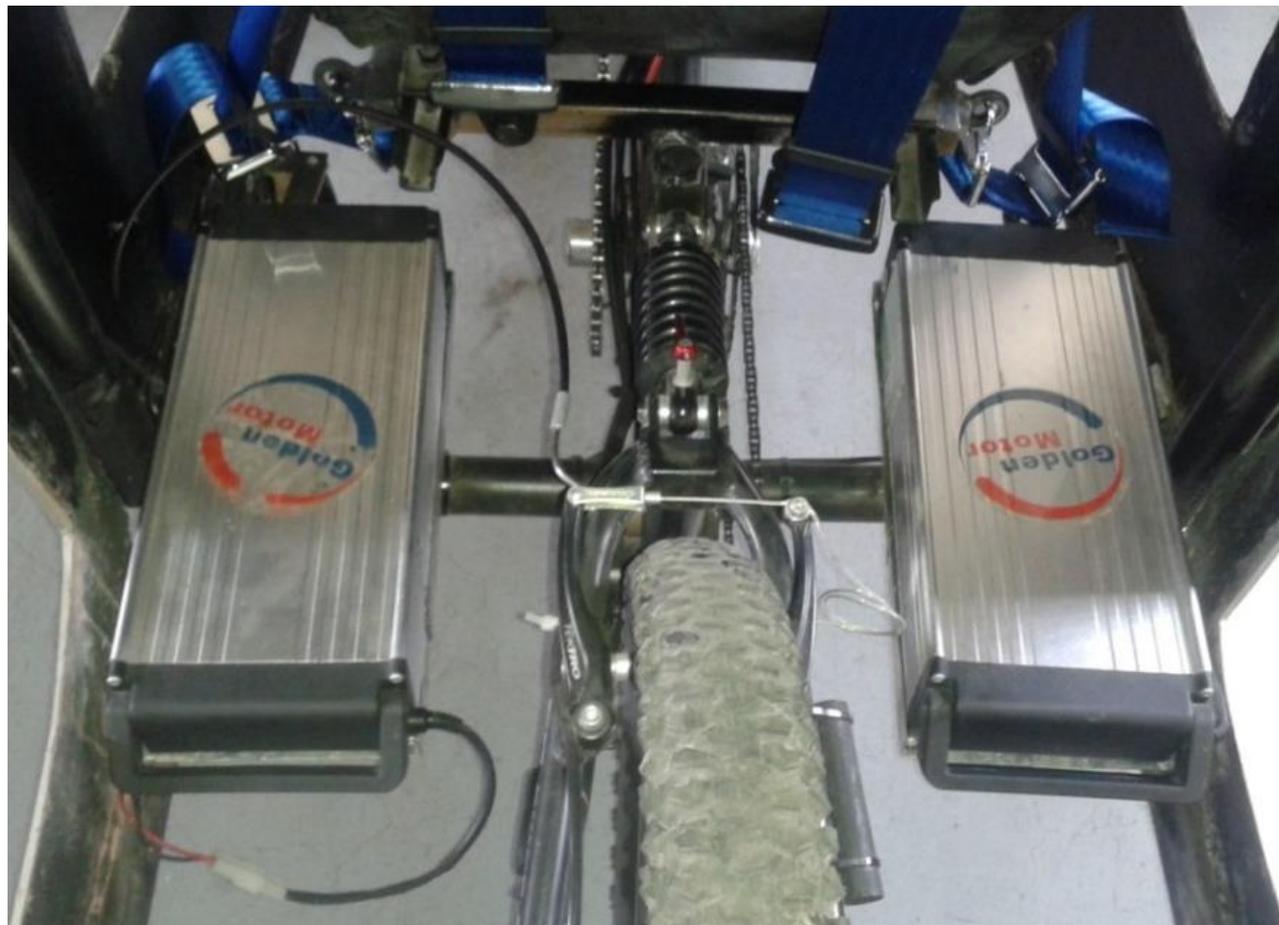
Control de
cruceo

Válvula reguladora
de pulgar

Descarrilador
posterior



MONTAJE DE LAS BATERÍAS



INSTALACIÓN DE CABLEADO Y LUCES





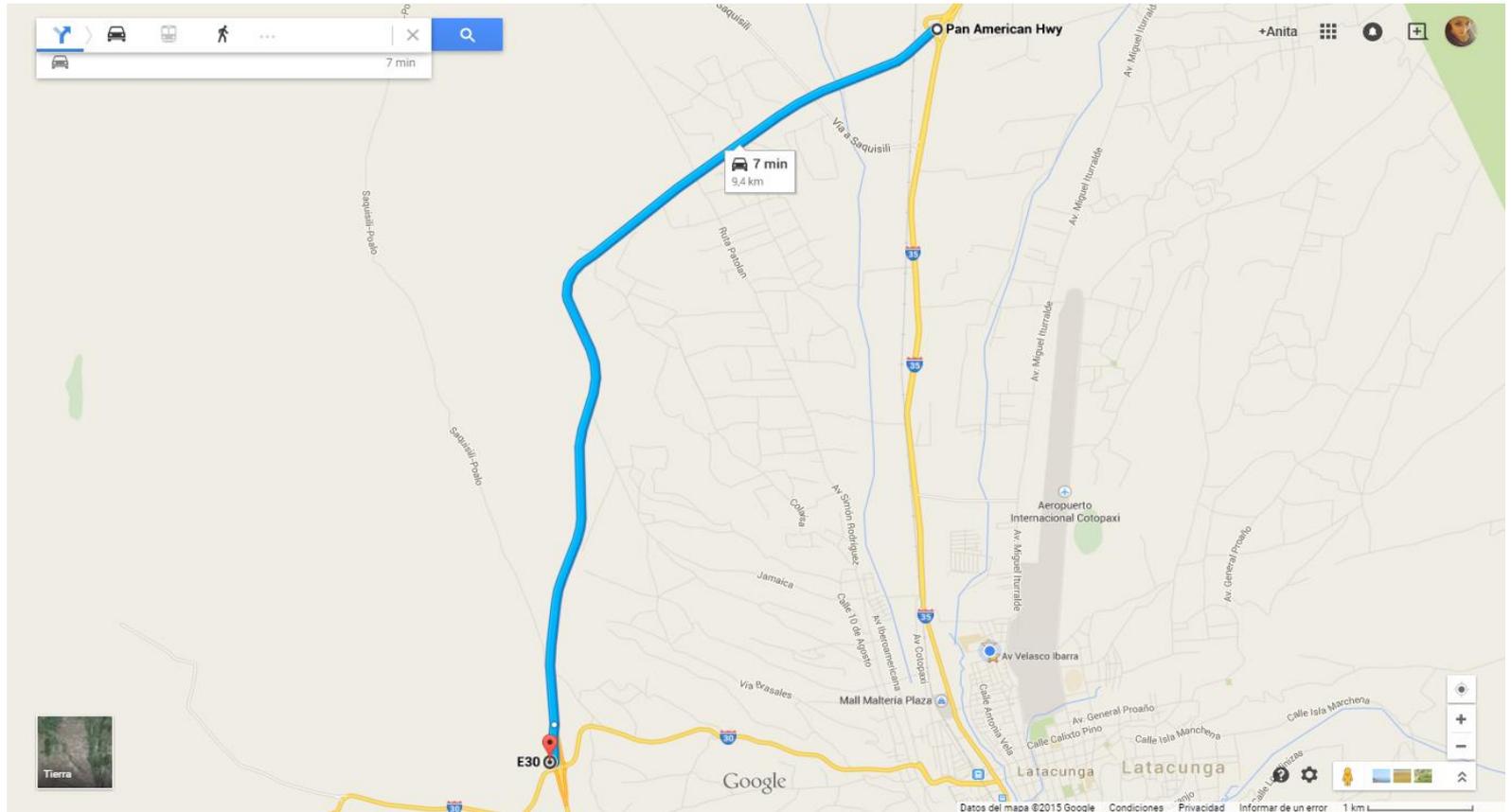
E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

PRUEBAS EN RUTA

Las pruebas se las realizó en la Panamericana Norte de Latacunga, desde el desvió a Quito de la entrada a Saquisilí hasta los hornos en un tramo de 9.4 Km tal como se ve la siguiente figura, en su mayoría es plana y posee un total de 4 pendientes de inclinación superiores a 25 grados y 7 curvas no muy cerradas.



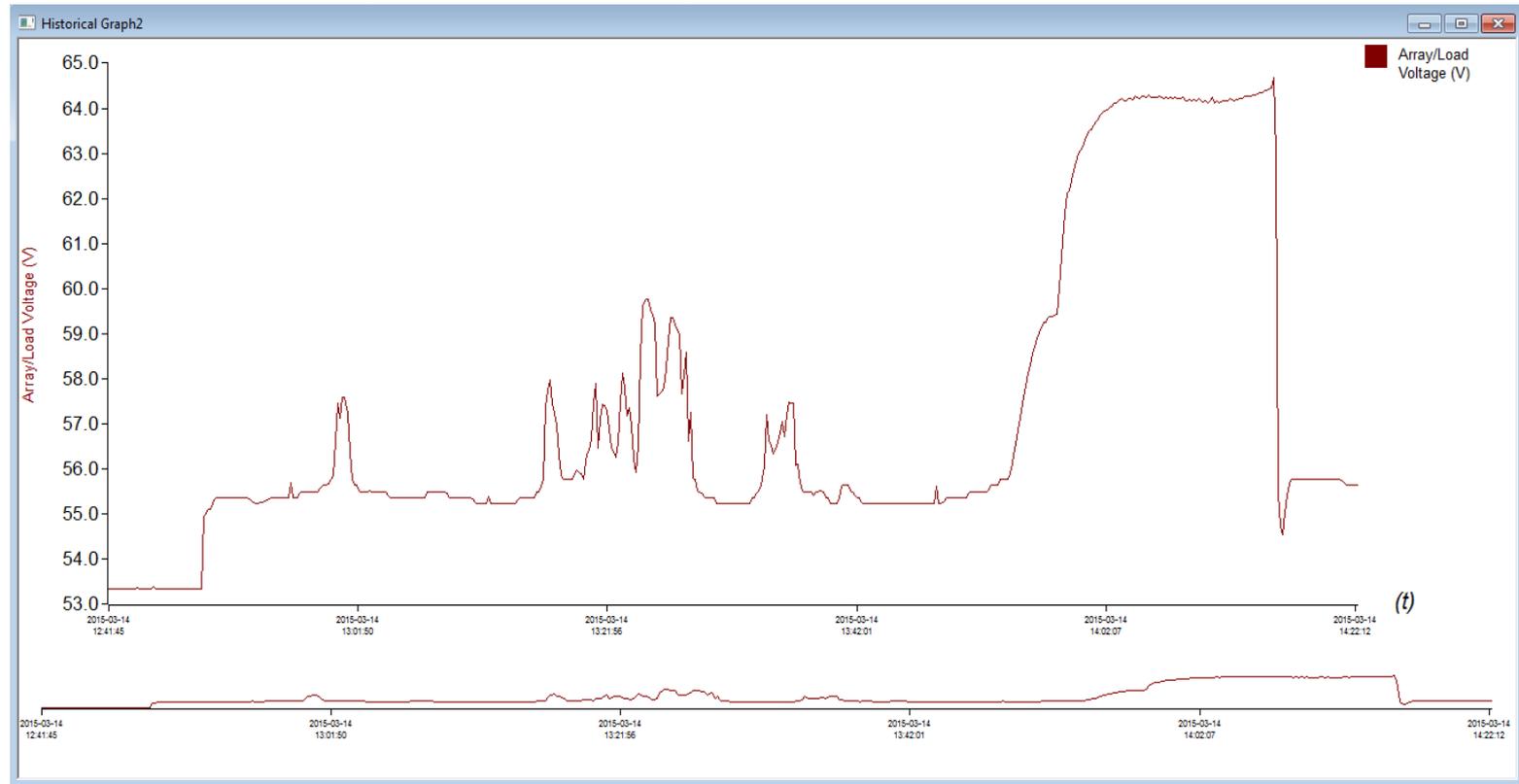
MAPA DE RUTA



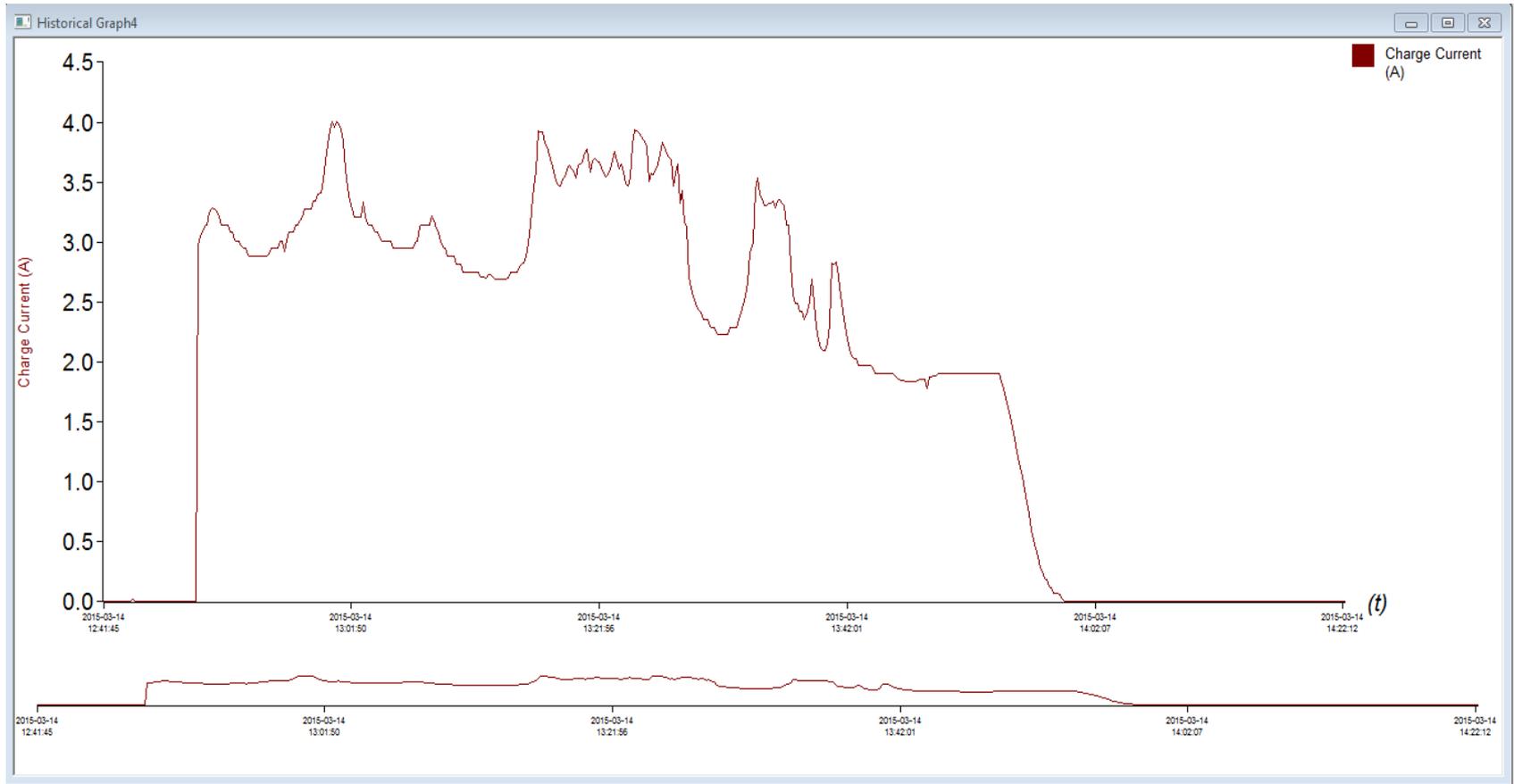
E S P E
REGIÓN POLITICIANA DEL BAÑO
CAMINO A LA EXCELENCIA

CARGA DE BATERÍAS

Curva de voltaje en el arreglo de celdas fotovoltaicas



Curva de corriente al momento de carga de baterías.



CONCLUSIONES

El sistema eléctrico de la tricicleta fue instalado cumpliendo con las normas y especificaciones de la competencia Atacama Solar Challenge consiguiendo una eficiencia eléctrica esperada debido a que las baterías con el arreglo de celdas fotovoltaicas se cargan en *1 hora 50 minutos* en comparación con *3 horas* que toma cargarse con el cargador.

El motor elegido Magic Pie III de *48 Voltios* y *1000 Watios* posee un torque suficiente para poder movilizar la tricicleta Solar con un peso de *208kg* a una velocidad de *40km/h*.



El sistema eléctrico de la tricicleta solar posee las protecciones necesarias para evitar cortocircuitos y sobrecargas a la salida del panel, a la salida del MPPT, y en el juego de banco de baterías.

Este vehículo muy aparte de estar diseñado para una competencia de vehículos solares aporta como una iniciativa para aprovechar las energías renovables como es el caso de la energía solar.

Se realizaron pruebas de funcionamiento en un tramo total de *94 km* ayudando a confirmar la efectividad de los parámetros calculados como son la carga las baterías y la autonomía del motor.



Los principales inconvenientes que se presentaron en la implementación del sistema eléctrico de la tricicleta fueron los elevados costos de importación del motor, controlador MPPT y baterías que tenían ciertas restricciones de ingreso al país por su composición interna.

Para poder obtener una mayor autonomía eléctrica de la tricicleta podríamos colocar un mayor número de baterías, lo cual aumentaría el peso y su funcionamiento no sería el adecuado.

La energía suministrada por los arreglos de celdas solares con máxima radiación solar cumplen con el valor necesario para alimentar en aproximadamente 2 *horas* las baterías de Ion litio de 48*Voltios*.



RECOMENDACIONES

Promover el uso de vehículos alimentados por fuentes de energía limpias ya que son de uso universal y ayudarán considerablemente a la preservación del medio ambiente.

Es necesario tener un presupuesto definido para la adquisición de los equipos y materiales necesarios y así evitar inconvenientes al momento de la implementación.

Documentar y buscar la mayor información posible sobre los equipos adquiridos y así evitar inconvenientes al momento de su instalación y acoplamiento con el resto de equipos del sistema eléctrico.



Tomar muy en cuenta todas las protecciones eléctricas necesarias para evitar sobrecargas y el mal funcionamiento del sistema eléctrico en general.

Disminuir en lo posible el peso de materiales y equipos de construcción de la tricicleta solar para obtener una mayor velocidad y autonomía.

Dimensionar correctamente los equipos a utilizar para evitar inconvenientes en la instalación eléctrica y obtener las pérdidas mínimas posibles.

Usar el software MSView para tomar los datos de voltaje y corriente de salida del arreglo de celdas fotovoltaicas y poder simular su comportamiento.



GRACIAS



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA