



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA
PARA LA TRICICLETA SOLAR QUE PARTICIPARÁ EN LA
CARRERA ATACAMA SOLAR 2014.”**

**AUTOR:
PEDRO REISANCHO**

**Ing. David Rivas
DIRECTOR**

**Ing. Fabricio Pérez
CODIRECTOR**

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar el sistema de telemetría para la tricicleta solar que participara en la carrera Atacama solar 2014.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las técnicas de transmisión inalámbricas para variables físicas.
- Determinar los tipos de sensores que se utilizaran para el monitoreo de la tricicleta solar o afines.
- Desarrollar el algoritmo para el envío y recepción de datos procedentes de la tricicleta solar.
- Elaborar la interfaz de usuario para la visualización de las variables físicas procedentes de la tricicleta solar.
- Implementar un espacio de trabajo adecuado para el funcionamiento óptimo de la tricicleta solar.
- Instrumentar la tricicleta solar.



DESCRIPCIÓN DE LA CARRERA

La Carrera Solar Atacama es la primera competencia de vehículos solares de Latinoamérica. La carrera convoca a equipos de todo el mundo con el fin de generar innovación e investigación en tecnologías fotovoltaicas, aportar al desarrollo de la movilidad eléctrica y a la formación de emprendedores conscientes sobre la importancia de las energías renovables como impulsoras de una sociedad más sustentable.

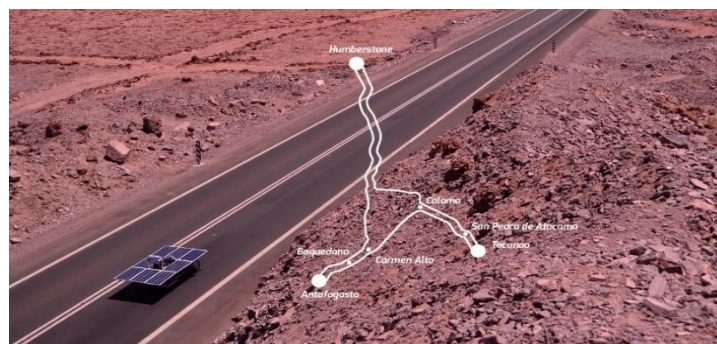


DESCRIPCIÓN DE LA CARRERA

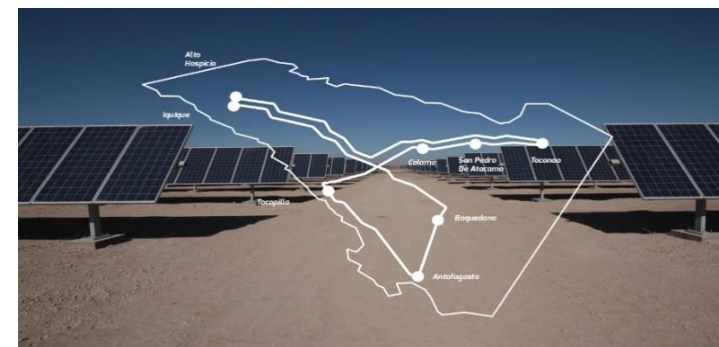
VERSIÓN 2011



VERSIÓN 2012



VERSIÓN 2014



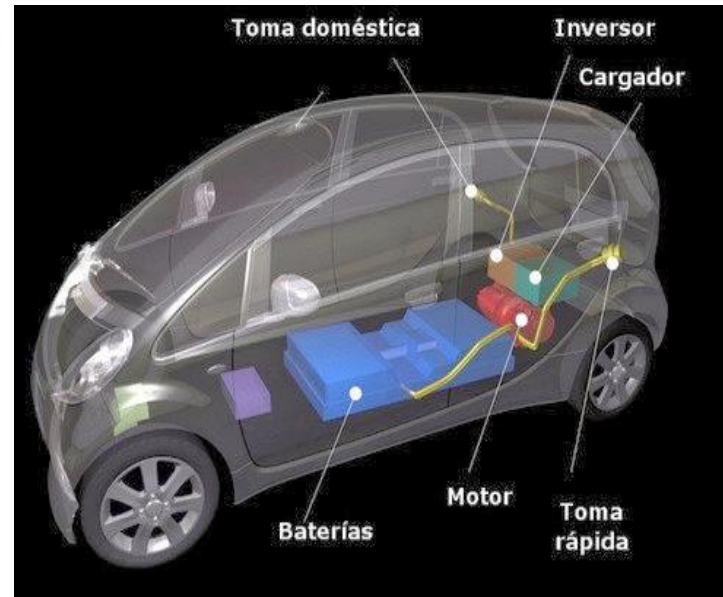
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

TIPOS DE VEHÍCULOS

VEHÍCULO HIBRIDO



VEHÍCULO ELÉCTRICO



TRICICLETA



PARÁMETROS DE DISEÑO

En la desarrollo de la tricicleta solar se trabajo con la colaboración de ocho personas con temas que abordan las áreas competenciales que son: Carrocería, Sistema De Transmisión y Frenos, Sistema Fotovoltaico, Sistema De Tracción Eléctrica y El Sistema Telemétrico



PARÁMETROS DE DISEÑO

➤ Estructura

Esta diseñada para lograr que sea lo suficientemente resistente, confiable, segura y lograr que sea competitiva en comparación con otros diseños.

➤ Sistema de transmisión y frenos

Debe ser eficiente para evitar pérdidas por fricción y debe ser eficaz, progresivo y previsible para que el conductor en todo momento pueda prever el comportamiento de su vehículo durante la frenada



PARÁMETROS DE DISEÑO

➤ Sistema fotovoltaico

Este tipo de sistema transforma la energía lumínica del sol en energía eléctrica. El sistema aprovecha recursos energéticos locales y tienen un mantenimiento sencillo.

➤ Sistema de tracción eléctrica

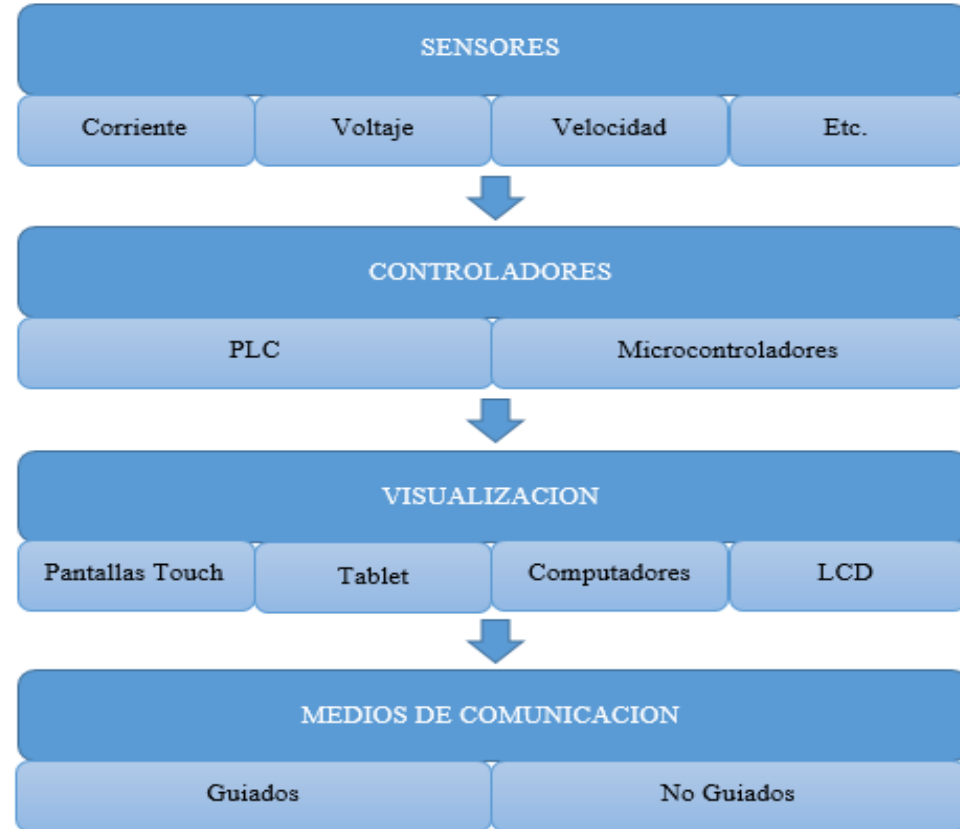
Son los elementos, líneas e instalaciones, que en conjunto, forman el sistema de transporte de energía, comprendido desde fuentes de energía hasta las cargas de consumo.



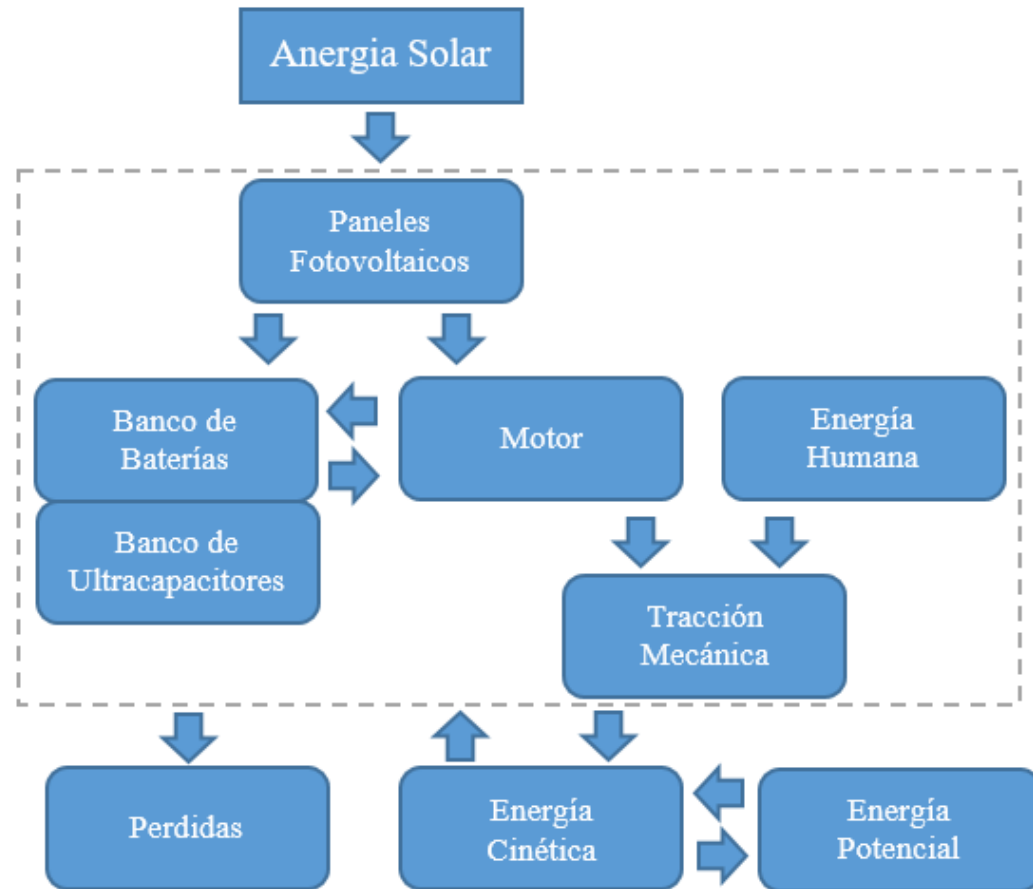
PARÁMETROS DE DISEÑO

- **Sistema telemétrico**

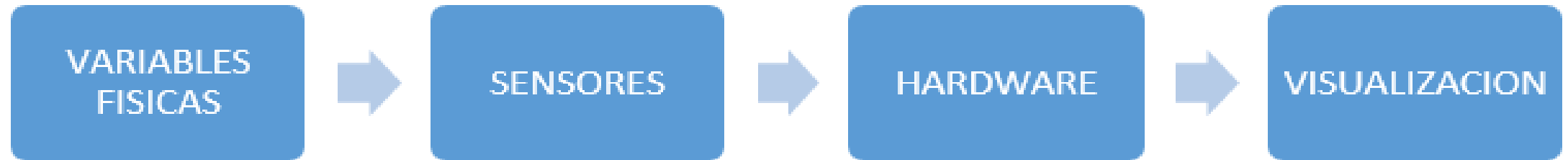
Un sistema de telemetría normalmente consiste de un transductor como un dispositivo de entrada, un medio de transmisión en forma de líneas de cable o las ondas de radio, dispositivos de procesamiento de señales, y dispositivos de grabación o visualización de datos.



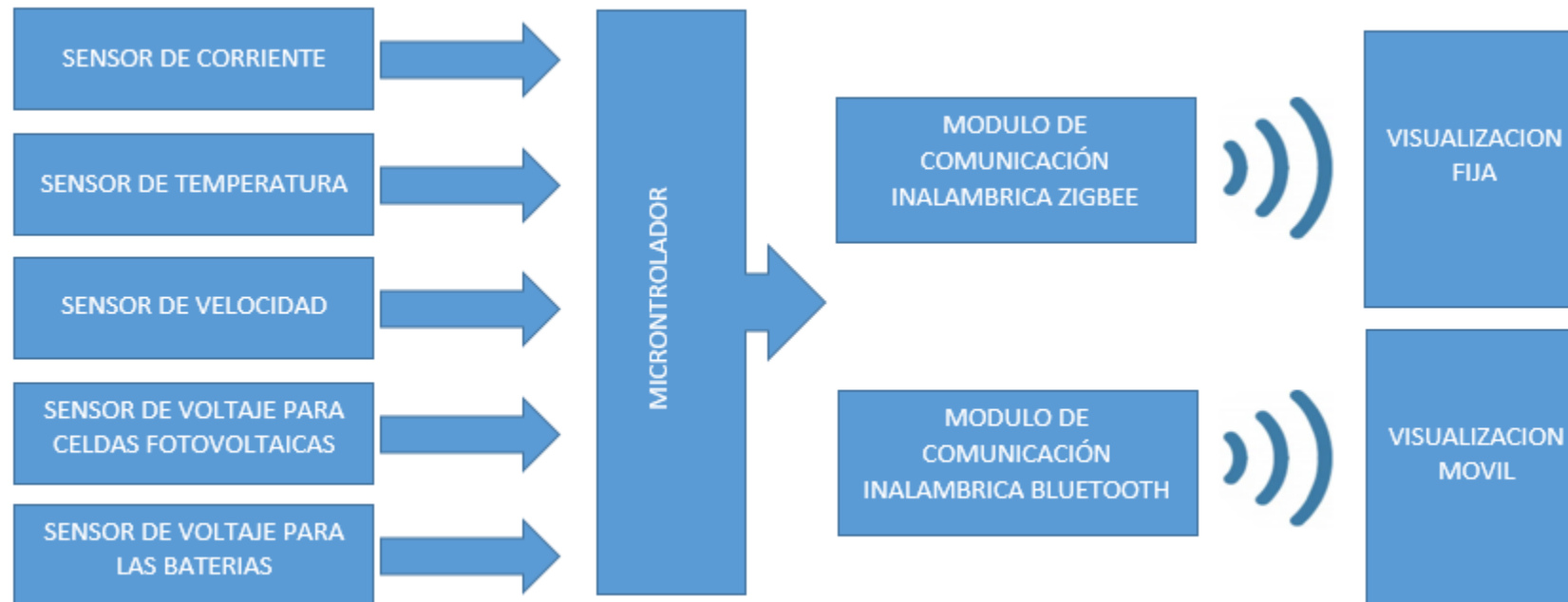
INTERACCIÓN DE LOS PROCESOS ENERGÉTICOS



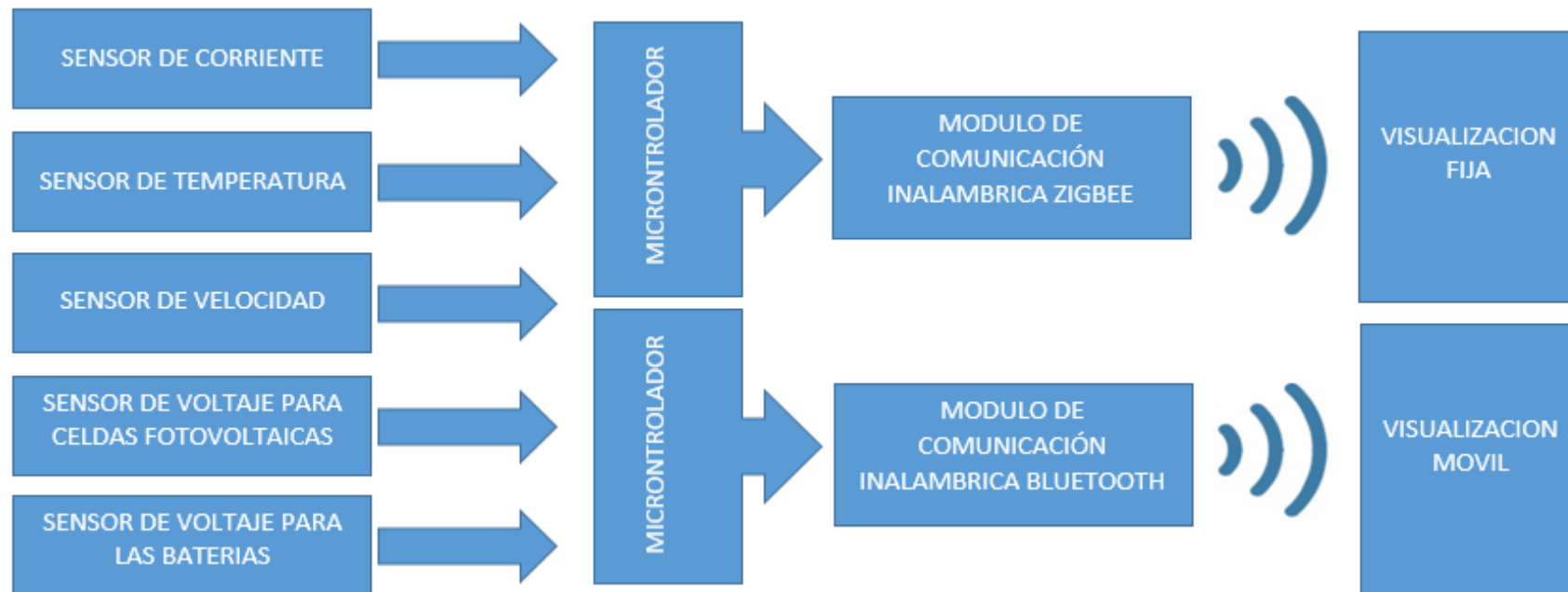
ELEMENTOS DEL SISTEMA TELEMÉTRICO



CONSIDERACIONES DEL SISTEMA



CONSIDERACIONES DEL SISTEMA



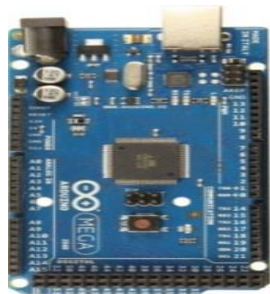
ELECCIÓN DE COMPONENTES

En este ítem se incluye y se comenta cada elemento necesario para el diseño, así como la elección de los componentes más representativos por sus características y las más deseadas para el sistema, por lo que, hay diferentes tablas comparativas, para tener una idea más clara y precisa al momento de saber cuál es la mejor opción tomando en cuenta algunos parámetros.





CONTROLADORES PROGRAMABLES



Modelo	Mega 2560 ADK	SIMATIC S7-CPU 226	PIC16F877A
Oscilador	16MHz	0.22us/operación	0 - 20MHz
Memoria Flash	256 KB	8 KB	8 KB
SRAM	8 KB	1 MB	cuatro bancos de memoria de 128 Bytes cada uno
Dimensión	Mediana	Grande	Pequeña
Voltaje de Trabajo	7V - 20V	24V	2 - 5,5V
Pines Digitales I/O	54	24ED/16SD	24
Pines Análogos	16	Depende del Módulo Analógico	8
Temperatura de Funcionamiento	-40 – 80°C	0 - 40°C	-40 – 125°C
Interfaz de Programación	Arduino	MircoWin	- MicroBasic - MicroC
Trabajo con comunicaciones inalámbricas	✓	✓	✓
Disponible en el mercado (Ecuador)	✓	✓	✓
Costo (Ecuador)	\$60	\$800	\$10





SENSOR DE VELOCIDAD

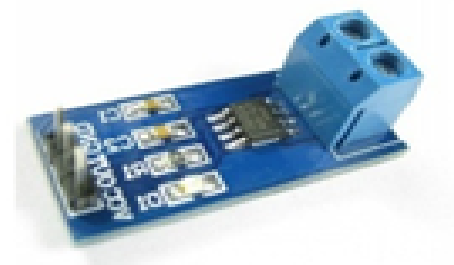


Modelo	Módulo Arduino Efecto Hall	Sensor por contacto magnético	Sensor Modelo GEL 2472
Tipo de Salida	Digital	Analógica	Digital
Voltaje de Trabajo	5-15V	Necesita etapa de acondicionamiento de 5V	9 - 36V
Corriente Colector Abierto/cerrado	25mA	25mA	6mA
Temperatura de Operación	-40 °C hasta 100 °C	9 °C hasta 50 °C	-40 °C hasta +120 °C
Acondicionamiento	x	✓	✓
Dimensión Disponible en el mercado (Ecuador)	Pequeña ✓	Pequeña ✓	Pequeña x
Costo	\$15	\$25	\$25





SENSOR DE CORRIENTE

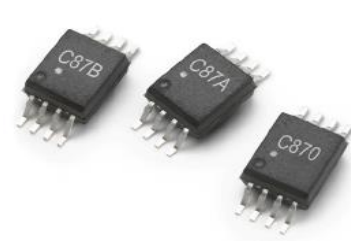


Modelo	Modulo ACS 712	Sensor de corriente modelo SCT 013-000
Tipo de Salida	Digital	Digital
Voltaje de Trabajo	5V	5V
Tipo de Señales	AC/DC	AC
Rango de Lectura	0 - 20A	0 - 100A
Sensibilidad	66mV/A	
Temperatura de Operación	-40°C hasta 85°C	-25°C hasta 70°C.
Invasivo	✓	x
Acondicionamiento	✓	x
Dimensión	pequeña	Pequeña
Costo	\$ 12	\$25





SENSOR DE VOLTAJE

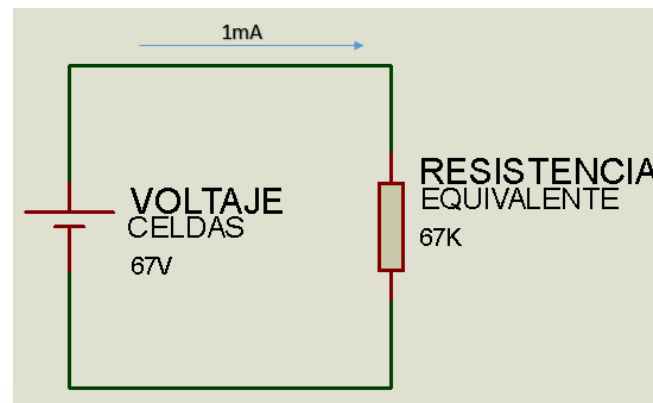


Modelo	ACPL-C87B	Sensor Voltaje Arduino
Tipo de Salida	Digital	Digital
Voltaje de Trabajo	5.5V	5V
Tipo de señales	AC/DC	AC/DC
Rango de Lectura	10V hasta 150V	0 hasta 25V
Exactitud	0.5V	0.5V
Lineal	✓	✓
Acondicionamiento	✓	x
Dimensión	Pequeña	mediana
Disponible en el mercado (Ecuador)	x	✓
Costo	\$30	\$16



DISEÑO DEL DIVISOR DE TENSION

Se diseñó el divisor de tensión considerando el voltaje total que nos da el arreglo de las celdas que es de 66V pero el diseño se realizó para 67V con la condición de que a la placa de Arduino no entre más de 5V, con esto, teniendo el voltaje máximo de las celdas y asumiendo que la corriente que va a consumir el circuito es de 1mA nos da que la resistencia equivalente del circuito es de 67K Ω esto lo muestra la Figura



DISEÑO DEL DIVISOR DE TENSIÓN

Es necesario que a los pines de entrada del Arduino ingrese solo 5V y considerando que la corriente es la misma en serie tenemos lo siguiente:

$$R2 = \frac{V}{I} = \frac{5V}{1mA} = 5K\Omega$$

Pero como en el mercado no existe esta resistencia se aproxima.

$$R2 \approx 5.1K\Omega$$



DISEÑO DEL DIVISOR DE TENSION

Restando la diferencia conseguimos la otra resistencia.

$$R1 + R2 = 67K\Omega$$

$$R1 = 67K\Omega - R2$$

$$R1 = 67K\Omega - 5.1K\Omega$$

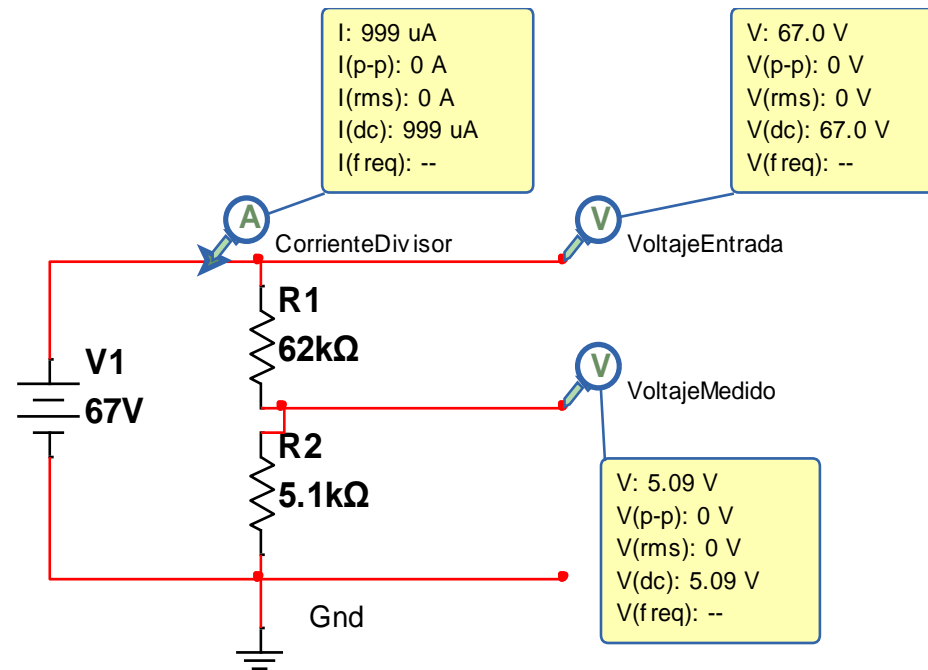
$$R1 = 61.9K\Omega$$

$$R1 \approx 62K\Omega$$








DISEÑO DEL DIVISOR DE TENSIÓN

La siguiente figura muestra la configuración general para divisores de voltaje con los criterios señalados.





COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

					
Tecnología	NFC	RFID	Bluetooth	Zigbee	Wi-fi
Network	PAN	PAN	PAN	LAN	LAN
Topología	P2P	P2P	P2P	Malla, estrella, árbol.	Estrella
Consumo energético	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Medio
Velocidad	400 Kbs	400 Kbs	700 Kbs	250Kbs	11 – 100 Mbs
Distancia	< 10 cm	< 3 m	< 30 m	10 – 300 m	4 – 20 m
Aplicaciones	Trazabilidad	Trazabilidad	Domótica	Sensores Industriales	Internet
Disponible en el mercado (Ecuador)	x	x	✓	✓	✓
Costo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio



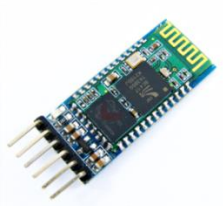


ZIGBEE

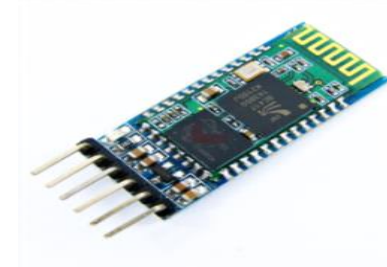
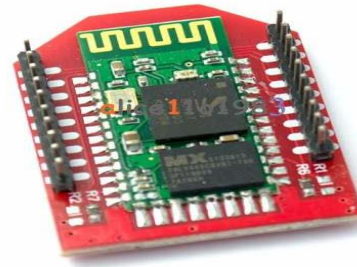


Modelo		Xbee S1	Xbee S2C	módulo nrf24l01
Tipo de Salida		Digital	Digital	Digital
Voltaje de Trabajo		3.6V	2.7 V a 3,6 V	3 V a 3.6 V
Corriente de Transmisión	de	35 mA	120 mA	115 mA
Corriente de Recepción	de	38 mA	31 mA	45 mA
Potencia de Salida		1 mW	63 mW	79 mW
Rango de Alcance		100 m	2 millas	1000 m
Sensibilidad		-96 dBm	-101 dBm	-104 dBm
Rango de Frecuencias	de	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4GHz ~ 2.5GHz
Dimensión		pequeña	pequeña	pequeña
Temperatura de operación	de	-40 °C a 80 °C	-40 °C a 80 °C	-40 °C a 80 °C
Disponibilidad en el mercado (Ecuador)		✓	✓	✓
Costo		\$15	\$60	\$34





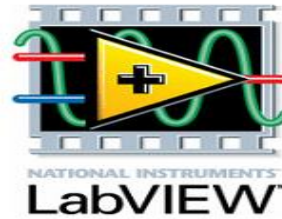
BLUETOOTH



Modelo	HC-06	HC-05
Tipo de Salida	Digital	Digital
Voltaje de Trabajo	3.3V	3.6 V a 6 V
Consumo de corriente	30 mA a 40 mA	25 mA
Potencia de Salida	4 mW	3 mW
Rango de Alcance	10 m	10 m
Rango de Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz
Sensibilidad	-84 dBm	-84 dBm
Dimensión	pequeña	pequeña
Temperatura de operación	-20 °C a 70 °C	-20 °C a 70 °C
Seguridad	Autenticación y encriptación	Autenticación y encriptación
Disponible en el mercado (Ecuador)	✓	✓
Costo	\$23	\$14



LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN



Nombre	LABVIEW	MATLAB	VISUAL BASIC
Versión	12	12	6.0
Capacidad de realizar interfaz de usuario	✓	✓	✓
Lenguaje de Programación	Visual	Visual	Visual
Sistema Operativo	Windows/Mac/Linux	Windows/Mac/Linux	Windows
Simulación	✓	✓	✓
Versión Free	30 días	30 días	✓
Interfaz de comunicación serial	✓	✓	✓
Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones	✓	✓	✓
Precio	1000	625	-



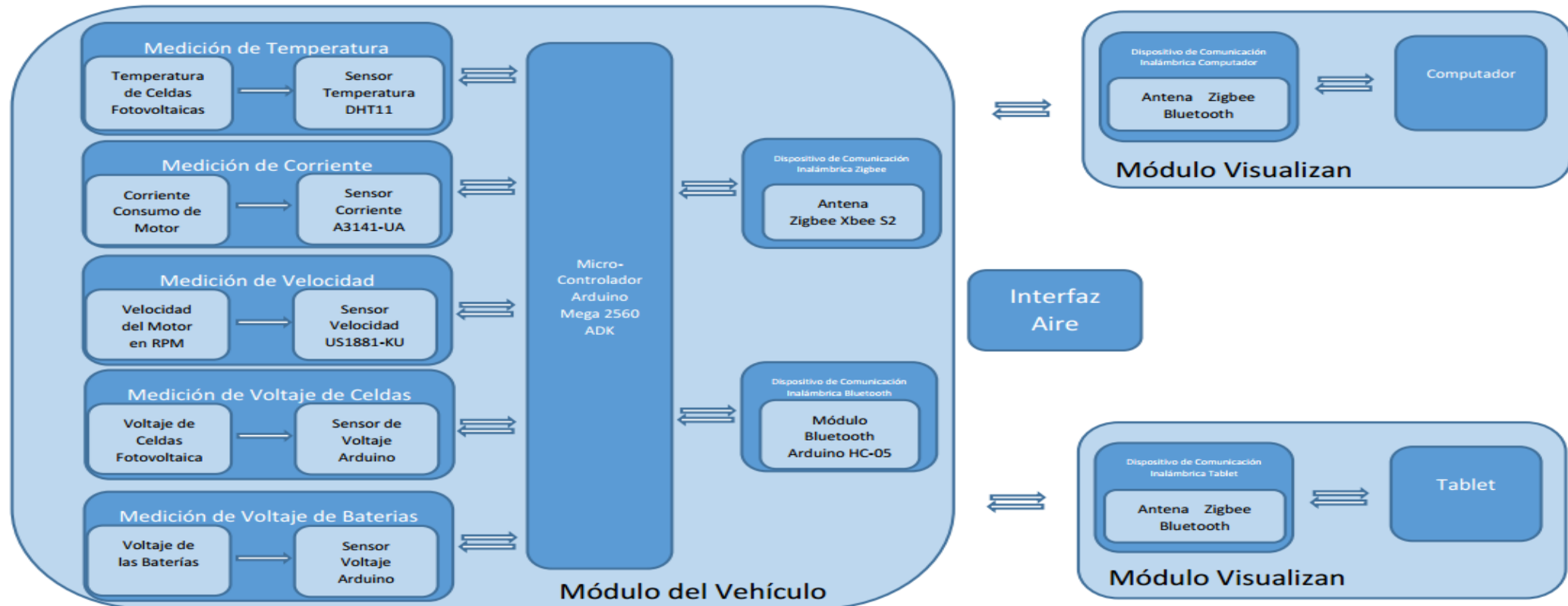
LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN



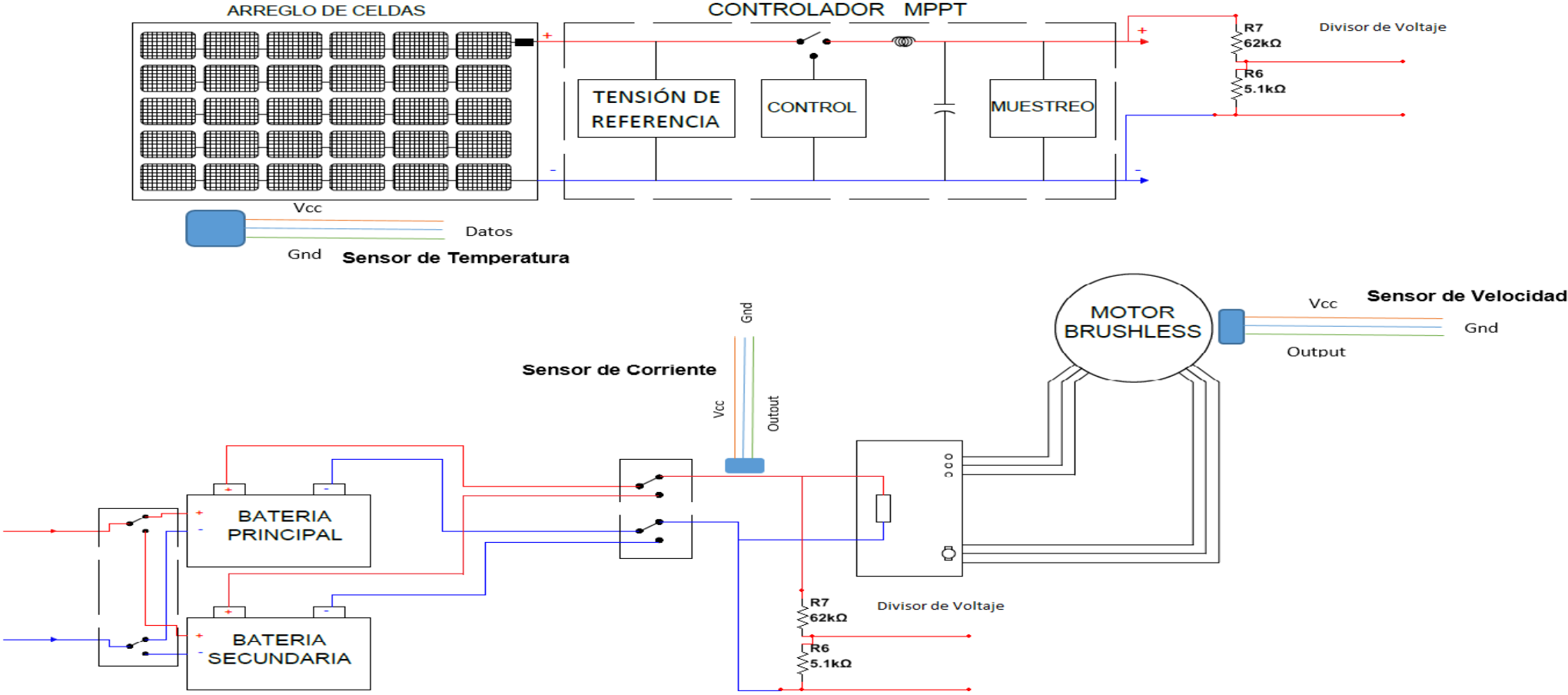
Modelo	Samsung Galaxy tab 2	Apple Ipad Air 2
Procesador	Dual Core 1Ghz	Apple A8X dual-core 1.3GHz, GPU PowerVR G6430
Sistema Operativo	Android 4.0 (Ice Cream Sandwich)	iOS 8.1
Pantalla	7" Multi-Touch	9.4" Multi-Touch
Batería	Li-Ion 4.000 mAh	Li-Po 8600 mAh
RAM	1GB DDR3	1GB
Versión Bluetooth	BT v3.0	BT v4.0
USB	Micro USB 2.0	Micro USB 2.0
Peso	344 g	437 g
Costo	\$230	\$700



DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA



ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA



INTERFAZ DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN LABVIEW



INTERFAZ DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN APP INVENTOR



PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación se presentarán los resultados de las pruebas de funcionamiento del diseño del sistema telemétrico. Las pruebas consisten en evaluar el funcionamiento de cada uno de los bloques que conforman el hardware así como el funcionamiento de la interfaz de usuario tanto en Labview y en ApplInventor, las medidas tomadas en estas pruebas, existe un tiempo de retardo en el barrido que realiza el microcontrolador para tomar los datos de cada sensor, con los datos obtenidos desde los sensores, se realizan cálculos y se los organiza para transmitirlos y enviarlos mediante las ondas de radio Zigbee o bluetooth hacia el receptor.



PRUEBAS EN CAMPO

Para realizar las pruebas se trasladó el vehículo solar al nuevo campus de la ESPEL en Belisario Quevedo teniendo una pista amplia como muestra la figura, libre de vehículos y peatones que puedan interrumpir las pruebas.



PRUEBAS EN CAMPO

En las pruebas de campo se puso en funcionamiento el sistema mecánico, eléctrico y telemétrico para determinar el comportamiento de la tricicleta, las siguientes figuras muestran el vehículo solar en el escenario de pruebas y en el punto de partida.



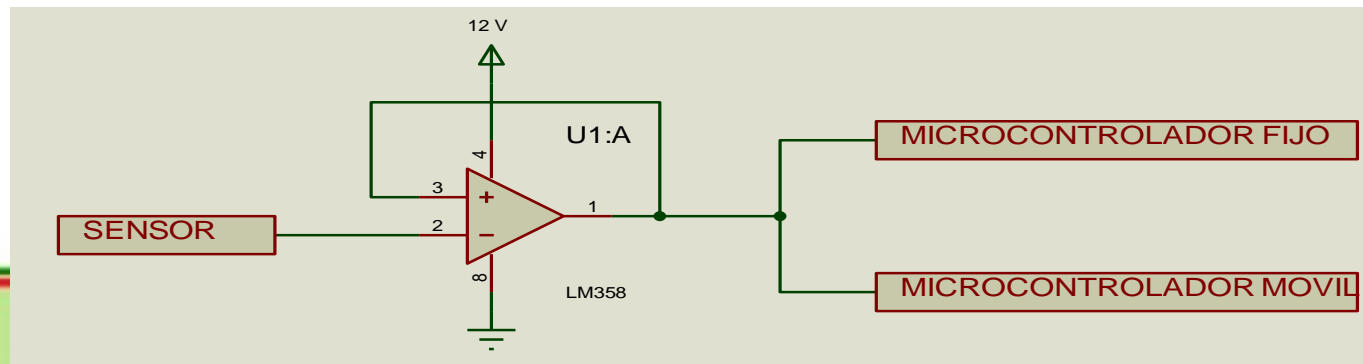
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Realizando varias pruebas en el funcionamiento de todo el sistema telemétrico se encontró problemas en el funcionamiento de los sensores esto se debió a los siguientes efectos.



EFECTO DE CARGA

Debido a que el sistema telemétrico es puramente resistivo al tomar la medida de cualquier sensor en paralelo con los dos microcontroladores, en un circuito ideal presentaría una resistencia infinita. Sin embargo, los instrumentos de medición que se utilizó presentan que el circuito se comporta como si tuviera una resistencia finita y ello supone que una cierta corriente se desvía en alguna parte, modificando las corrientes y potenciales preexistentes en el circuito.



INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS

Este problema se lo puede ver en la mayoría de los sensores utilizados en el proyecto ocurre cuando los cables de datos y de energía eléctrica viajan en forma paralela, también puede ser por los elementos externos que causan ondas electromagnéticas extraídas desde la carcasa del vehículo y que causan perturbaciones, directamente o indirectamente, en los cables de datos.



CONSIDERACIONES DE PRUEBAS

Se procedió a realizar el registro de datos de velocidad, corriente de consumo del motor, temperatura y voltaje de la matriz fotovoltaica y el voltaje de las baterías para su posterior análisis y saber si cumple con los parámetros de calidad del sistema de telemetría dispuestas por la competencia de Atacama.

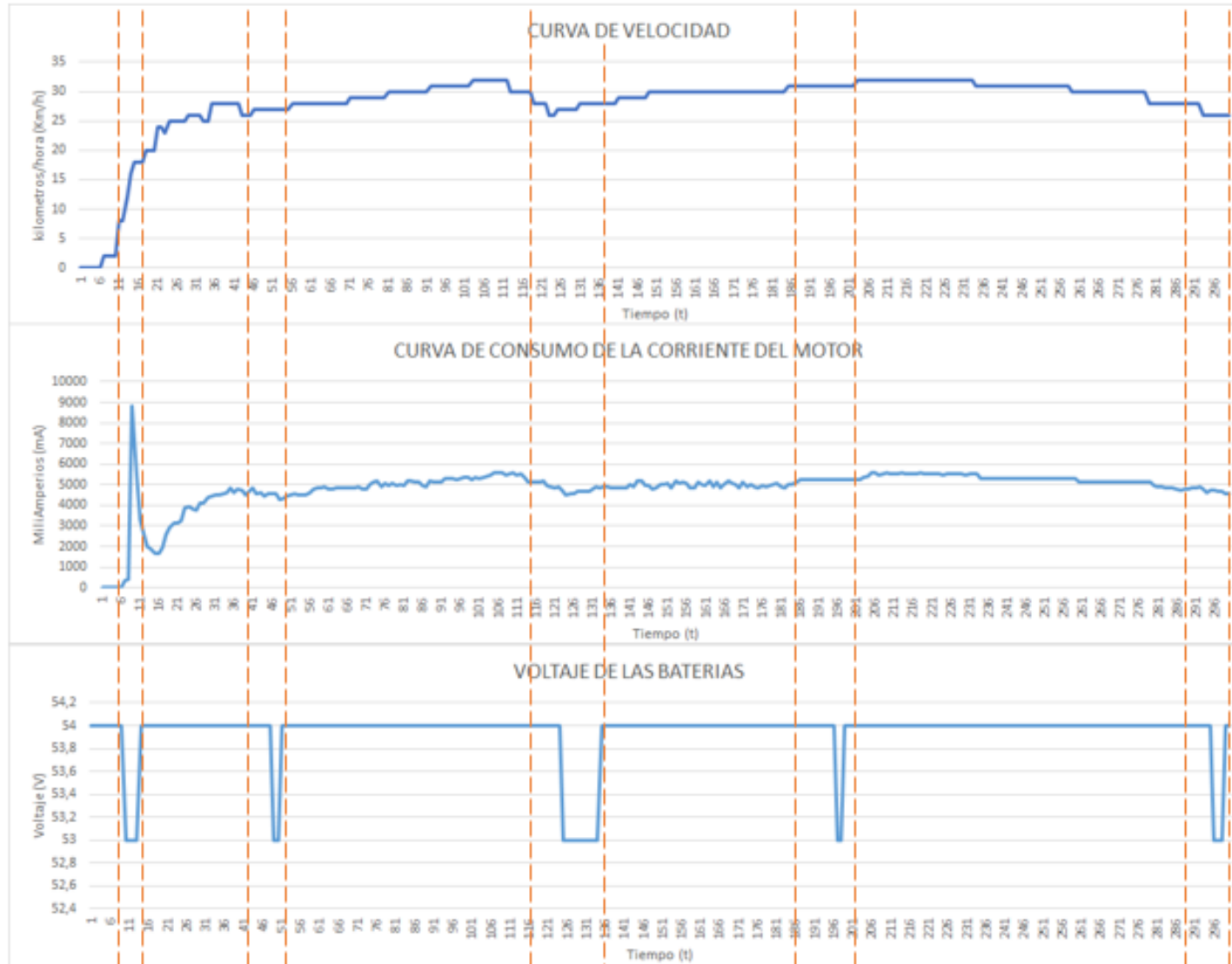


CONSIDERACIONES DE PRUEBAS

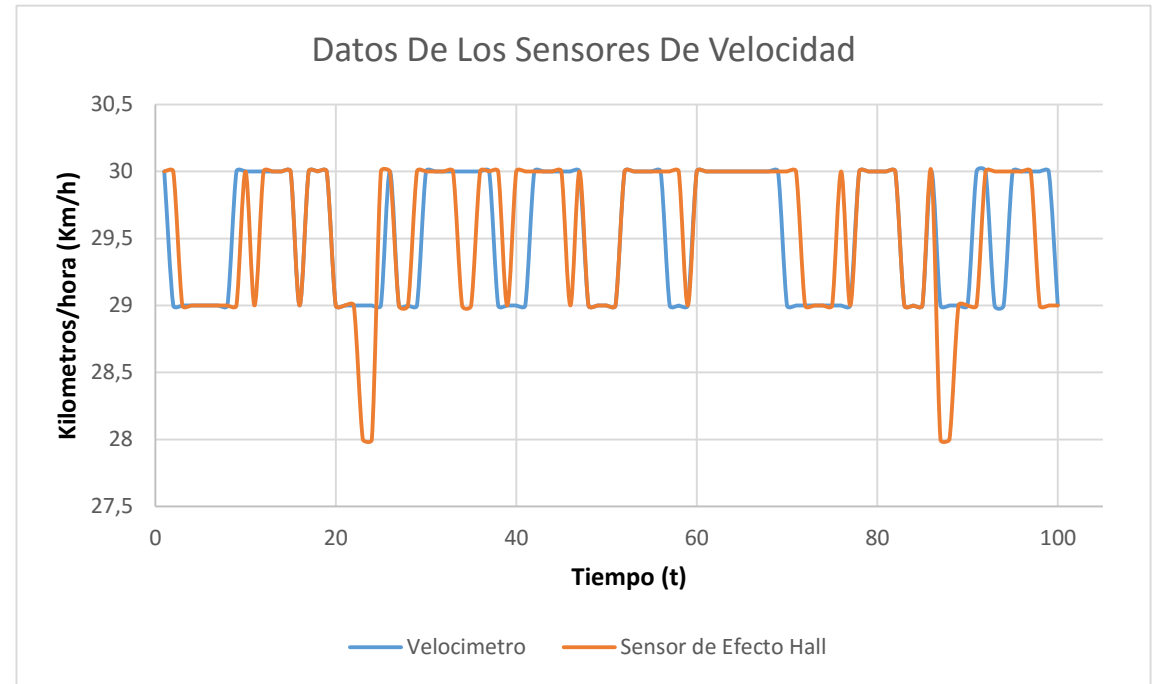
Para las mediciones de voltaje y de corriente se contó con el equipo FLUKE 115 que tiene precisión del 1%, para las mediciones de la temperatura el FLUKE 52ii con precisión del 0.05% con una termocupla tipo K y para la medición de la velocidad se contó con la aplicación Velocímetro en un teléfono iPhone, hay que tener en cuenta que esta aplicación en iOS requiere tener el GPS actualizado para evitar problemas de nuevas rotondas, calles cortadas, etc., otra desventaja es que al utilizar un teléfono con GPS está limitado a perturbaciones de la ionosfera que a su vez está formada por una capa de partículas cargadas eléctricamente que modifican la velocidad de las señales de radio que la atraviesan lo que significa que la aplicación no siempre será exacto.



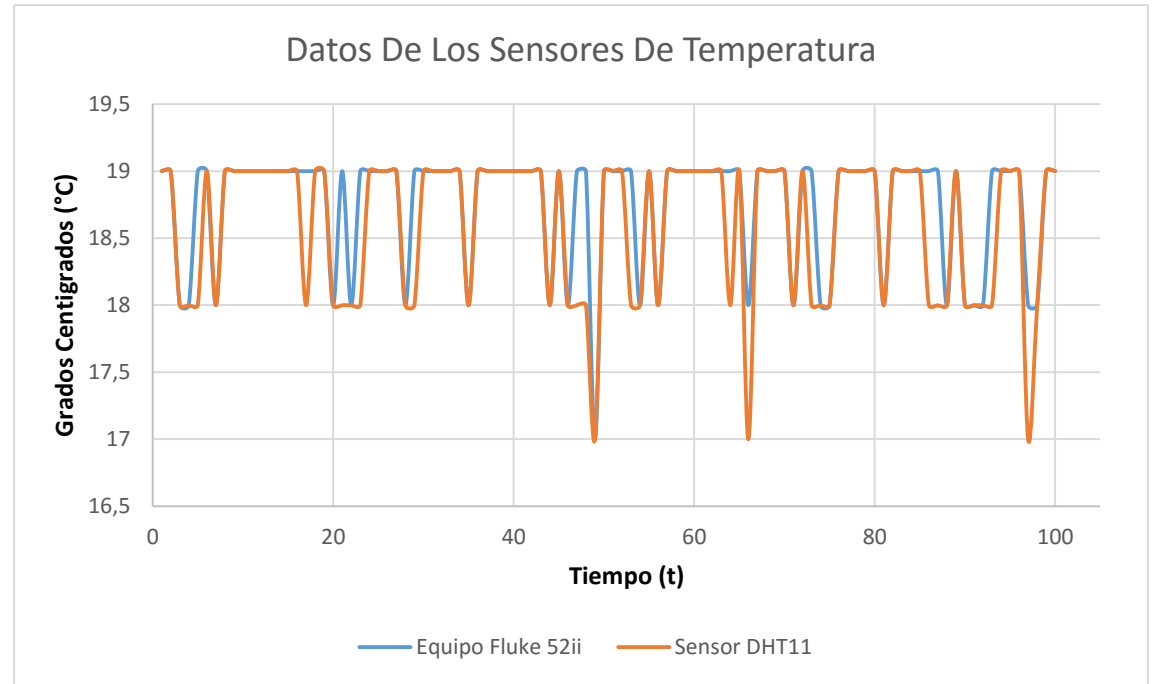
ANÁLISIS DE RESULTADOS



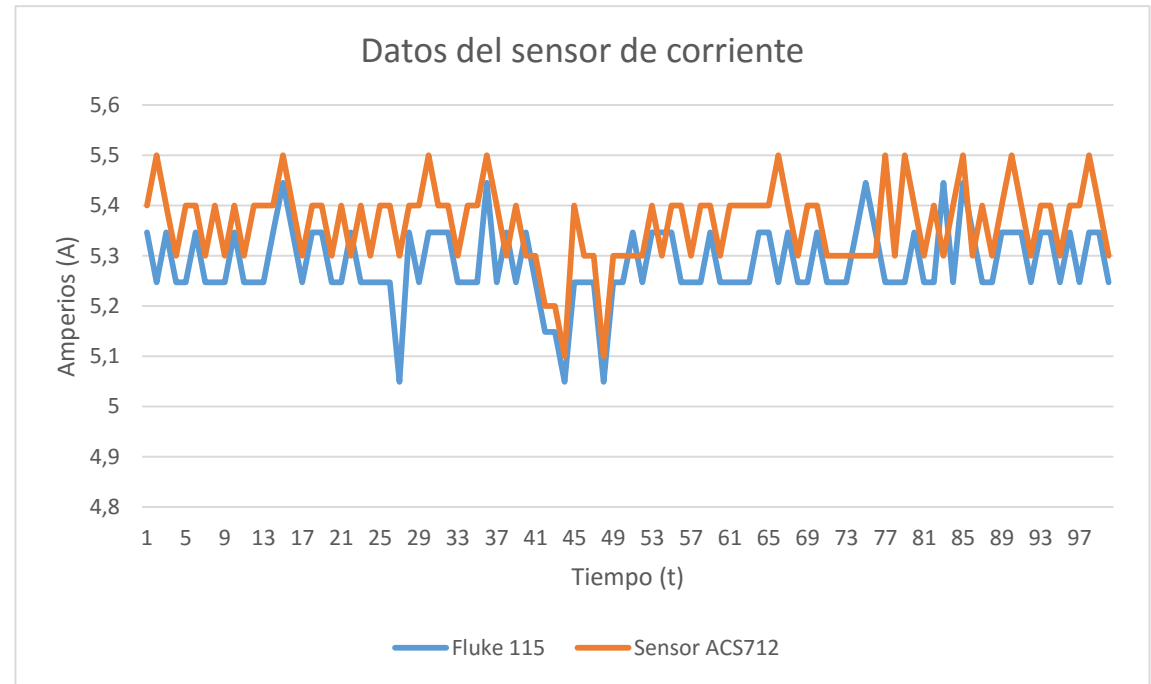
ANÁLISIS DEL SENSOR DE VELOCIDAD



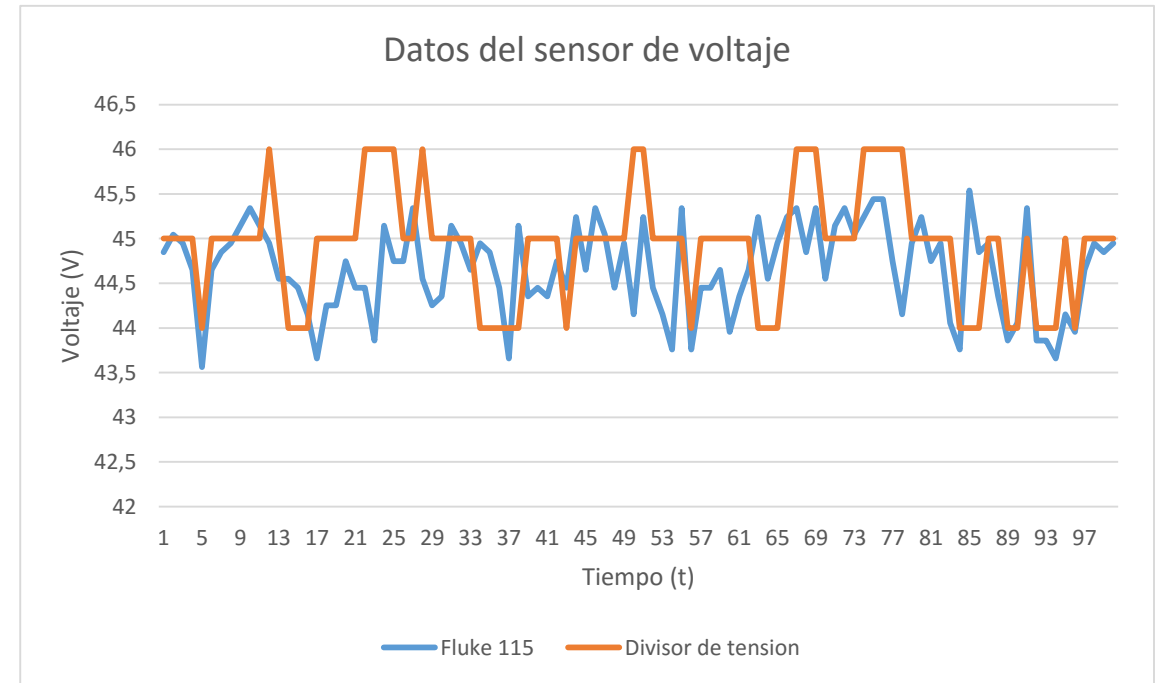
ANÁLISIS DEL SENSOR DE TEMPERATURA



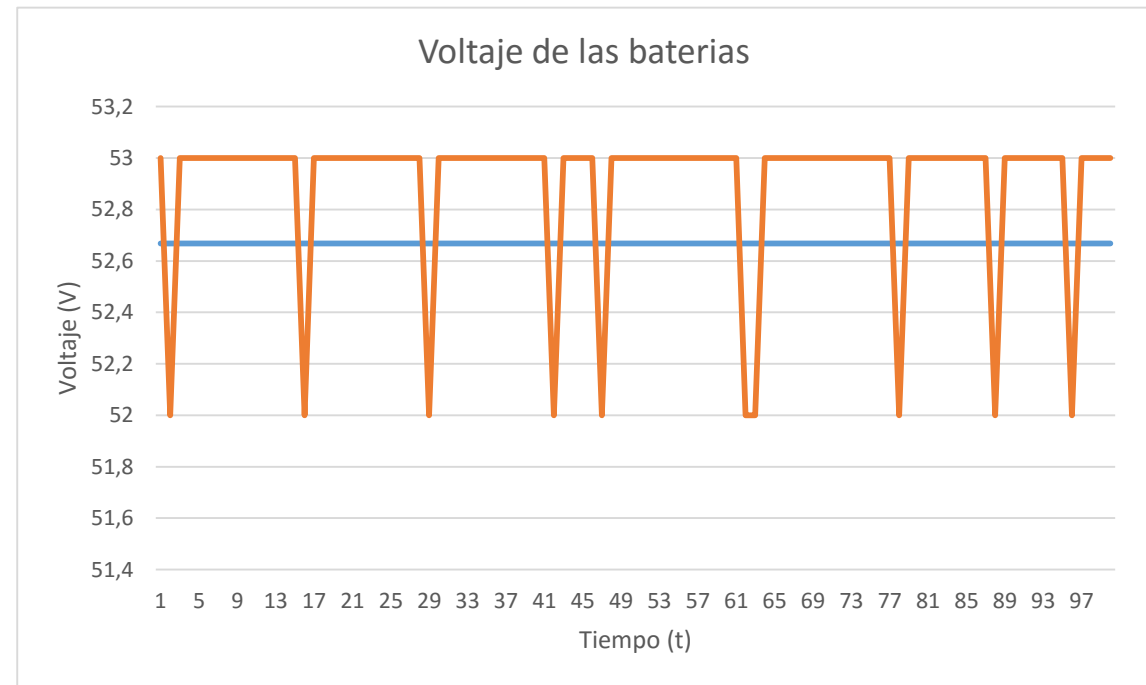
ANÁLISIS DEL SENSOR DE CORRIENTE



ANÁLISIS DEL SENSOR DE VOLTAJE DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS



ANÁLISIS DEL SENSOR DE LAS BATERÍAS



ERRORES DE LAS VARIABLES

Nombre del Sensor	Error Porcentual (%)
Velocidad de la tricicleta	0.85%
Temperatura de las celdas	0.80%
Corriente del motor	0.92%
Voltaje de las Celdas Fotovoltaicas	1.16%
Voltaje de las Baterías	0.56%



CONCLUSIONES

- Se diseñó e implemento el Sistema Telemétrico por medio del cual se monitorea, se procesa datos y se visualiza las variables físicas mediante la interfaz de usuario cumpliendo las condiciones y reglamentación de la carrera Atacama solar 2014.
- Los sensores que tienen una etapa de acondicionamiento de señal incorporado entregan señales de respuesta con menor relación señal a ruido con respecto a los tradicionales.
- El sensor DHT11 tiene un microcontrolador de 8 bits integrado con señal digital, por lo que se asegura que los datos entregados son de alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo pero es propenso al efecto electroestático y al iniciar todo el sistema tiene un tiempo muerto debido a las características del sensor.



CONCLUSIONES

- La carga de las baterías por medio de los paneles solares generan un campo electrostático que afecta a los equipos cercanos en sus líneas de alimentación y de datos.
- Al seleccionar los sensores siempre deben estar orientadas bajo los parámetros de la instalación final, pues en ocasiones las medidas de los sensores utilizados en el laboratorio van a diferir de su funcionamiento cuando ya estén acoplados en el equipo.
- Se debe utilizar sensores adecuados con características para que puedan soportar las condiciones del ambiente de la carrera y la operatividad de la tricicleta.



CONCLUSIONES

- Zigbee y bluetooth soluciono problemas de comunicación inalámbrica ya que permiten una comunicación fiable y simple entre microcontroladores y dispositivos fijos y móviles con topologías punto a punto y multipunto sin tener ningún problema de incompatibilidad entre ellos.
- El proyecto cumple los objetivos definidos, implementando el espacio de trabajo adecuados para el óptimo funcionamiento de la Tricicleta solar y realizando la instrumentación deseada, para poder determinar los parámetros de funcionamiento del vehículo.
- Se seleccionó sensores de tipo electrónico y no mecánico debido a la exactitud y acondicionamiento de la señal de salida, también tomando en cuenta la disponibilidad en el mercado.



RECOMENDACIONES

- Se aconseja realizar el diseño de la Tricicleta Solar, tomando en cuenta las condiciones y reglamentación de la carrera Atacama solar, compacta y segura para que no afecte al monitoreo cuando se produzcan vibraciones e inestabilidad de toda la estructura.
- Se recomienda utilizar equipos patrones para la calibración y ajuste de todos los instrumentos utilizados en el proyecto.
- Para el sensor DHT11 es necesario utilizar cables laminados para la transmisión de datos, ya que el voltaje inducido por un campo electroestático de la estructura, afecta a los instrumentos cercanos.



RECOMENDACIONES

- Mantener una sola tierra estable para los sensores y los microcontroladores colocando capacitores para disminuir el efecto estático.
- Se recomienda para los sensores y microcontroladores tener una fuente de alimentación independiente ya que si tomamos la energía de las baterías o de las celdas fotovoltaicas estas al variar constantemente en el tiempo pueden provocar daños en los circuitos y por consiguiente tener errores de medida.
- La estructura de la tricicleta al ser sometidos a la acción de fuerzas externas como el viento, responde variando su equilibrio y, como consecuencia, perturban su normal funcionamiento, por lo que se recomienda diseñar las placas para prevenir los problemas de vibraciones.



RECOMENDACIONES

- Trabajar con dos microcontroladores independientes para la comunicación inalámbrica con bluetooth y Zigbee ya que optimiza el tiempo de envío de datos.
- Realizar los cálculos de escalamiento en la interfaz del usuario en el computador o de la Tablet ya que estos tiene mejores recursos que la tarjeta Arduino y pueden ser aprovechadas de mejor manera.
- Revisar minuciosamente el estado de los sensores ya que tienen un promedio de vida útil de 6 a 12 meses, esto con el fin de asegurar su eficacia, su fiabilidad y su buen funcionamiento.

