

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Módulo de sensores para un vehículo ultra eficiente

Trabajo de graduación

presentado por Luis Pedro Sosa Salvatierra

para optar por el grado académico de licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala,

2016

Módulo de sensores para un vehículo ultra eficiente

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Módulo de sensores para un vehículo ultra eficiente

Trabajo de graduación


presentado por Luis Pedro Sosa Salvatierra

para optar por el grado académico de licenciado en Ingeniería Electrónica


Guatemala,

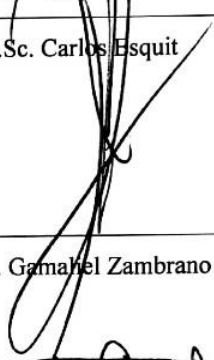
2016

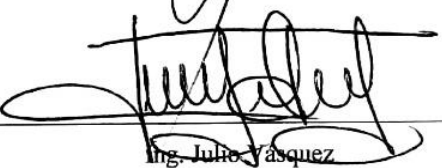
Vo.Bo.:

(f) 
M.Sc. Carlos Esquit

Tribunal examinador

(f) 
M.Sc. Carlos Esquit

(f) 
M.Sc. Gamahel Zambrano

(f) 
Ing. Julio Vásquez

Fecha de aprobación: Guatemala, 7 de diciembre de 2016 ✓

ÍNDICE

Listados de cuadros y de figuras	vi
Resumen	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	5
III. JUSTIFICACIÓN	6
IV. MARCO TEÓRICO.....	7
A. SIGLE BOARD COMPUTER	7
B. SENSORES DE PROXIMIDAD	7
1. Sensor ultrasónico	7
2. Sensores fotoeléctricos.....	8
3. Sensores inductivos.....	9
4. Sensores de temperatura.....	10
C. GPS	11
D. ARDUINO	11
E. RASPBERRY PI.....	12
V. ANTECEDENTES.....	14
VI. DISEÑO EXPERIMENTAL	16
A. FASES DE TRABAJO.....	16
1. Fase inicial	16
2. Fase I.....	16
3. Fase II.....	17
B. DISEÑO, MÓDULOS Y SUB MÓDULOS	17
1. Módulo Raspberry Pi	18
2. Pantalla.....	19
3. Módulo de Regulación de voltaje.....	20
4. Sub módulo Conexiones	21
5. Sub módulo de GPS	22

6.	Sub módulo de RPM	23
7.	Sub módulo de temperatura	25
8.	Sub módulo de botones	26
i.	Modo Competencia:	26
ii.	Modo Prueba:	26
iii.	Modo Normal:	26
VII.	RESULTADOS	27
A.	DISEÑO Y MÓDULOS	27
1.	Módulo Raspberry Pi	27
2.	Pantalla	28
3.	Módulo de Regulación de voltaje	28
4.	Sub módulo Conexiones	29
5.	Sub módulo de GPS	30
7.	Sub módulo de temperatura	31
8.	Sub módulo de botones	32
B.	IMPLEMENTACIÓN FINAL DEL MÓDULO COMPLETO	33
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
IX.	CONCLUSIONES	41
X.	RECOMENDACIONES	42
XI.	BIBLIOGRAFÍA	43

LISTADOS DE CUADROS Y DE FIGURAS

Figura 1: Equipos 2015 de Shell Eco Marathon Americas. Competencia tipo prototipo en Etanol.	2
Figura 2: Track de competencia 2015, de Shell Eco-marathon Americas 2015.	2
Figura 3: Logo del equipo inscrito por la UVG.	3
Figura 4: Automóvil terminado, fase II.....	3
Figura 5: Sensor ultrasónico HC SR 04, diagrama de pines del sensor.	8
Figura 6: Sensor ultrasónico HC SR 04, funcionamiento.	8
Figura 7: Sensores fotoeléctricos.	9
Figura 8: Sensor inductivo.	10
Figura 9: Sensor RTD PT 100 sumergible.	10
Figura 10: Arduino DUE.	12
Figura 11: Raspberry Pi B+.	13
Figura 12: Raspberry Pi B+ GPIO pins.	13
Figura 13: Especificaciones técnicas Raspberry Pi B+.	13
Figura 14: Vista frontal del Chasis del automóvil, fase I y II.	14
Figura 15: Vista trasera del Chasis del automóvil, fase I y II.	15
Figura 16: módulos de proyecto.....	17
Figura 17: <i>Definición de bits y voltajes por módulos.</i>	18
Figura 18: <i>módulo Raspberry Pi B+ con case transparente.</i>	18
Figura 19: <i>Módulo USB de Wi-Fi CanaKit para Raspberry Pi.</i>	19
Figura 20: <i>Módulo Convertidor USB a UART TTL serial CP2102.</i>	19
Figura 21: Pantalla LCD de 3.5 pulgadas, resolución 640x480.	19
Figura 22: Datos técnicos de pantalla LCD	20
Figura 23: Esquemático de regulador de voltaje. Diseñado en Altium Designer.....	20
Figura 24: Diseño de PCB de módulo Regulador en Altium Design.....	20
Figura 25: <i>Esquemático de módulo de interconexiones.</i> Diseñado en Altium Designer.	21
Figura 26: Diseño de PCB de módulo de interconexiones en Altium Design.	22
Figura 27: <i>Ultimate GPS Adafruit.</i>	22
Figura 28: Sub módulo GPS con su antena.....	23
Figura 29: Datos técnicos de Ultimate GPS breakout V3.....	23
Figura 30: Esquemático de sub módulo de RPM. Diseñado en Altium Designer.....	24
Figura 31: Diseño de PCB de módulo de RPM en Altium Design.	24
Figura 32: Esquemático de sub módulo de temperatura. Diseñado en Altium Designer.	25
Figura 33: Diseño de PCB de módulo de temperatura en Altium Design.....	25
Figura 34: <i>Módulo Raspberry Pi, armado.</i>	27
Figura 35: Implementación final de pantalla LCD.....	28

Figura 36: Implementación final de módulo de regulación de voltaje.....	28
Figura 37: Módulo regulación implementado.....	29
Figura 38: <i>implementación final de módulo de conexiones.</i>	29
Figura 39: Módulo GPS.....	30
Figura 40: Implementación final de sub módulo de RPM..	30
Figura 41: Sensor inductivo implementado.	31
Figura 42: implementación final de sub módulo de sensores.	31
Figura 43: Sensor de temperatura DS18B20 en un encapsulado metálico.....	31
Figura 44: Sub módulo de botones.	32
Figura 45: Sub módulo de botones.	32
Figura 46: Interconexión de módulo de interconexiones y módulo Raspberry.....	33
Figura 47: Especificaciones técnicas del módulo.	33
Figura 48: Costos del proyecto.	34
Figura 49: Módulo de sensores fase I instalado en el automóvil.	35
Figura 50: Módulo de sensores completo.	35
Figura 51: Módulos y sub módulos implementados	36

RESUMEN

El Proyecto tiene como nombre *Módulo de sensores para un vehículo ultra eficiente*. Este se diseñó para un auto inscrito en la competencia anual de la Shell Eco Marathon Americas, en la categoría de prototipo, usando etanol.

Shell Eco-Marathon desafía a equipos de estudiantes de todo el mundo para diseñar, construir y poner a prueba los vehículos de ultra-bajo consumo. El objetivo es consumir el mínimo combustible posible a lo largo de una distancia determinada.

El módulo de sensores desarrollado presenta al piloto (el usuario) en una pantalla, de forma clara y amigable al conductor, la información que requiera según el uso que se le dé en ese momento. El módulo cuenta con diferentes configuraciones de despliegue de datos; modo de prueba, modo de competencia o modo normal que se seleccionan según lo que necesite el piloto. Entre los datos desplegados están la velocidad, RPM, número de vueltas en el track, temperatura en cabina, temperatura en motor e indicador de cambio de velocidad. El diseño del mismo es modular a manera de poder implementar cambios en la programación del mismo y/o añadir módulos sin necesidad de desechar el módulo realizado. Se concluyó que el sistema se puede implementar a diversos tipos de proyectos por su versatilidad en cambios de hardware y software. Se recomienda incorporar un módulo de comunicación a este módulo, para transmitir los datos recuperados por el módulo de sensores a un ordenador para un análisis más detallado de los mismos.

I. INTRODUCCIÓN

El Proyecto tiene como nombre *Módulo de sensores para un vehículo ultra eficiente*. Este se diseñó para un auto inscrito en la competencia anual de la Shell Eco Marathon Americas, en la categoría de prototipo, usando etanol. (Shell, 2015)

Shell Eco-marathon desafía a equipos de estudiantes de todo el mundo para diseñar, construir y poner a prueba los vehículos de ultra-bajo consumo. Los ganadores son los equipos que van más lejos usando la menor cantidad de energía. El objetivo es consumir el mínimo combustible posible a lo largo de una distancia determinada. (Shell, 2015) (Shell, 2015)

Los equipos pueden elegir entre dos categorías de vehículos:

- Prototipo: Invita a los estudiantes para entrar vehículos futuristas racionalizarse y enfocados en maximizar la eficiencia del combustible mediante elementos de diseño innovadores, tales como la reducción de la fricción. (Shell, 2015)
- Concepto Urbano: Se centra en vehículos de combustible eficiente más apto para circular. Dirigido a satisfacer las necesidades reales de los conductores, estos vehículos son más cercanos en apariencia a los coches de alto kilometraje visto en las carreteras de hoy. (Shell, 2015)

Para ambas categorías, los equipos pueden utilizar diésel, gasolina, etanol, GTL, GNC, hidrógeno y tecnologías eléctricas de batería.

Figura 1: Equipos 2015 de Shell Eco Marathon Americas. Competencia tipo prototipo en Etanol.



(Shell, 2015)

Figura 2: Track de competencia 2015, de Shell Eco-marathon Americas 2015.



(Shell, 2015)

Figura 3: Logo del equipo inscrito por la UVG.



Figura 4: Automóvil terminado, fase II.



El equipo de inscrito por la Universidad del Valle de Guatemala, se llama Taq Balam. El módulo desarrollado fue para la fase II del auto en cuestión, dicho módulo permite el despliegue de datos importantes para el piloto en pantalla, para el monitoreo constante del vehículo. El módulo que maneja el concepto de modularidad, a manera de permitir mejoras en el módulo sin desechar el mismo y permita añadir más módulos en el futuro al mismo para la mejora de este. Este tiene versatilidad y dinamismo en el diseño para el fácil uso del piloto, técnicos y futuros desarrolladores.

Se concluyó que el sistema se puede acoplar a diversos proyectos. Se recomendó incorporar un módulo de comunicación a este módulo, para transmitir esta información a un ordenador los datos percibidos por el módulo de sensores, para tener acceso de manera remota a ellos y poder dar instrucciones al piloto en base a estos resultados.

II. OBJETIVOS

A. Generales

Diseñar un módulo para un automóvil prototipo que permita desplegar en una pantalla los diferentes datos importantes para el piloto para toma de decisiones en tiempo real.

B. Específicos

- Diseñar un sistema que despliegue la información de los sensores en una pantalla LCD¹ y que el piloto pueda seleccionar que datos desplegar en diferentes modos de funcionamiento.
- Implementar sensores de temperatura en la cabina y en el motor.
- Implementar un GPS² y en base a este contar el número de vueltas dadas en un circuito de competencia.
- Obtener las RPM del motor.
- Obtener la velocidad del vehículo.

¹ Pantalla de cristal líquido

² Sistema de posicionamiento global

III. JUSTIFICACIÓN

El *Módulo de sensores para un vehículo ultra eficiente*, se diseñó para un auto inscrito en la competencia anual de la Shell Eco Marathon Americas, en la categoría de prototipo. La Shell Eco-marathon desafía a equipos de estudiantes de todo el mundo para diseñar, construir y poner a prueba los vehículos de ultra-bajo consumo. El objetivo es consumir el mínimo combustible posible a lo largo de un circuito de competencia. (Shell, 2015) (Shell, 2015)

Este módulo es necesario para tener control sobre el vehículo al momento de realizar pruebas o estar en una competencia, lo cual permite al conductor tener acceso a información necesaria para determinar si el vehículo está respondiendo como es requerido. Tener un módulo que permita implementar cambios en un futuro sin desechar lo realizado es importante para que el diseño realizado permita realizar mejoras o añadir módulos, utilizando el concepto de modularidad. Esto permite que este módulo sea efectivo en este y otros proyectos que lo requieran, ahorrando recursos.

IV. MARCO TEÓRICO

A. SIGLE BOARD COMPUTER

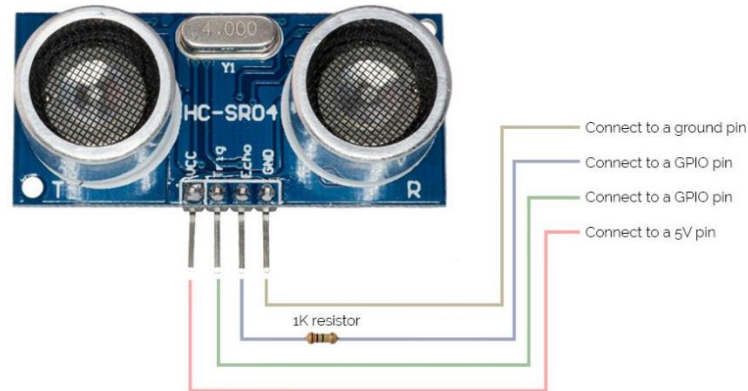
Los SBC (Single Board Computer) son totalmente funcionales ordenadores contenidos en un solo circuito. Junta la placa base y placas secundarias que dependen unos de otros para operar en un MBC (Multi Board Computer). Ellos se incrustan más comúnmente como controladores y las interfaces dentro de otros dispositivos. Los SBC reducen el número de componentes y conectores y por lo tanto puede remplazar a un MBC. Entre los más conocidos están la Beagle Board y la Raspberry Pi. (Hassig, 2015) (BeagleBone, 2015) (Adafruit, 2014)

B. SENSORES DE PROXIMIDAD

Los Sensores de Proximidad incluyen a todos los sensores que hacen la detección sin contacto. Los sensores de proximidad convierten la información sobre el movimiento o la presencia de un objeto en una señal eléctrica. Algunos tipos son inductivos, fotoeléctricos, ultrasónicos, magnéticos. (Skillten, 2015) A continuación se detallan algunos de ellos:

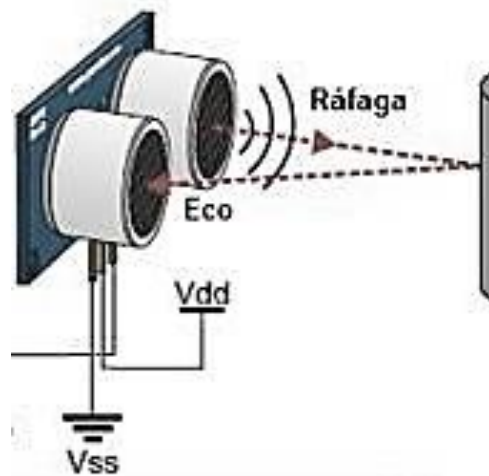
1.Sensor ultrasónico. Para su funcionamiento hay que generar una onda sónica en el emisor mediante un pulso en pin de trigger, esta onda al encontrarse con algún obstáculo rebotará, volviendo al sensor y siendo registrada por el receptor, traduciéndose esta en un pulso ("Echo"). Se obtiene la distancia que recorrió el pulso, utilizando la velocidad de la luz y el tiempo transcurrido desde que se envió el pulso. Puede apreciarse de una forma más ilustrativa en la figura el funcionamiento de este sensor. (Diosdado, 2015) (Lappin, 2015)

Figura 5: Sensor ultrasónico HC SR 04, diagrama de pines del sensor.



| (Lappin, 2015)

Figura 6: Sensor ultrasónico HC SR 04, funcionamiento.



(Diéguez, 2015)

2. Sensores fotoeléctricos. Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que "ve" la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de censado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas. (Industrial, 2015)

Los sensores de luz se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un fotoeléctrico para

convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida. (Industrial, 2015)

Figura 7: Sensores fotoeléctricos.



(Goblin, 2015)

3. Sensores inductivos. Sensores que detectan metales, ferrosos o no ferrosos, y utilizan inducción electromagnética para generar y detectar las corrientes de pérdidas o de Foucault que se generan.

Sensores de proximidad inductivos son diseñados para funcionar mediante la generación de un campo electromagnético y detectar la corriente de Foucault pérdidas actuales generan cuando ferrosos y metales no ferrosos de destino objetos entran en el campo. El sensor consta de una bobina en un núcleo de ferrita, un oscilador, un detector de nivel de activación de señal y un circuito de salida. Con un objeto metálico las corrientes de Foucault se inducen en el objetivo. El resultado es una pérdida de energía y una amplitud menor de oscilación. El circuito detector entonces reconoce un cambio específico en amplitud y genera una señal que a su vez, la salida "ON" de estado sólido o "OFF." (Bradley, 2015) (Ali M. Niknejad, 2010.)

Figura 8: Sensor inductivo.



(Autonics, 2015).

4. Sensores de temperatura. La temperatura es una medida del promedio de energía cinética de las partículas en una unidad de masa, expresada en unidades de grados en una escala estándar. Puede medir temperatura de diferentes maneras que varían de acuerdo al costo del equipo y la precisión. Los tipos de sensores más comunes son los termo coplas, RTDs y termistores. (Instruments, National, 2015)

Figura 9: Sensor RTD PT 100 sumergible.



(ProSense®, 2015)

C. GPS

Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Un sistema de navegación basado en satélites en el que dos o más señales, recibidas de los satélites, se utilizan para determinar la posición del receptor en el globo. (Integrated, maxim, 2015)

D. ARDUINO

“Arduino es una plataforma de prototipos de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Es un micro controlador. Para ello se utiliza el lenguaje de programación de Arduino (basado en Wiring) y el software de Arduino (IDE).” (Arduino.cc, 2015)

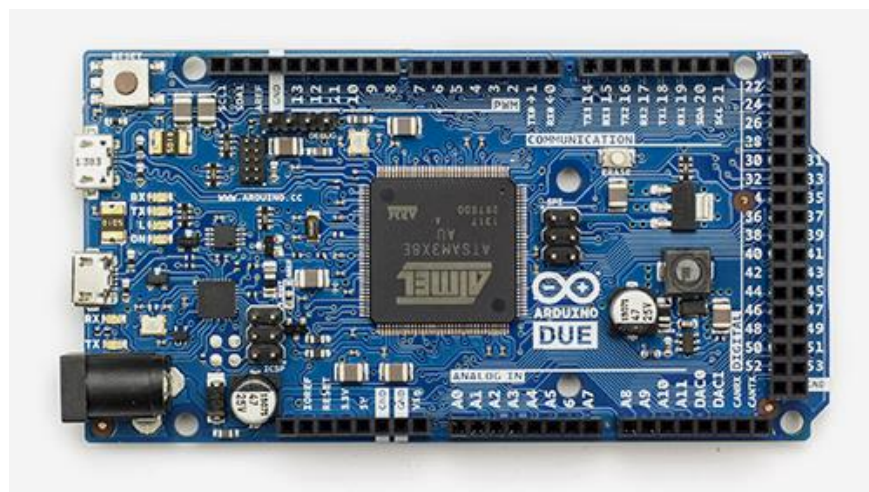
Arduino nació a Ivrea Interaction Design Institute como una herramienta fácil dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación. Luego la placa Arduino comenzó a cambiar para adaptarse a las nuevas necesidades.

Existen varios productos Arduino, entre ellos Arduino/Genuino Micro, Arduino Pro y Arduino/Genuino UNO, entre otras. Las versiones más avanzadas están Arduino/Genuino 2560, Arduino zero, y Arduino DUE.

El Arduino DUE es el que tiene mayor capacidad de procesamiento, entre otras ventajas más. A continuación se detalla las especificaciones técnicas del mismo.

- Microcontrolador: AT91SAM3X8E, 84 MHz, 32-bit core ARM
- Memoria RAM: 96 KB
- Pines GPIO: 54
- Un controlador DMA (Direct Memory Access), para tareas de memoria intensiva

Figura 10: Arduino DUE.



(Arduino, 2015)

E. RASPBERRY PI

La Raspberry Pi (Adafruit, 2015) es un SBC de bajo costo, que permite conectar un monitor de ordenador o un televisor mediante conexión RCA³ o HDMI, utiliza un teclado y un mouse estándar. Esta tiene además puertos USB (Variantes entre las versiones existentes) y puerto de Ethernet.

Acorde a Raspberry.org “Es un dispositivo poco capaz que permite a las personas de todas las edades para explorar la computación, y para aprender a programar en lenguajes como Scratch y Python. Es capaz de hacer todo lo que espera de una computadora de escritorio, desde navegar por Internet y reproducción de vídeo de alta definición, a hacer hojas de cálculo, procesadores de texto, y jugar juegos” (Raspberrypi.org, 2015) (Adafruit, 2014)

Es utilizado en una amplia gama de proyectos de diversa índole, debido a su versatilidad. A continuación, se detalla las especificaciones técnicas del mismo.

- Procesador: 700 MHz Broadcom BCM2835 CPU
- Memoria RAM: 512 MB SDRAM 400 MHz Almacenamiento: tarjeta microSD
- Puertos USB: cuatro puertos USB 2.0
- Energía: 600mA hasta 1.8A a 5V
- Pines GPIO: 40

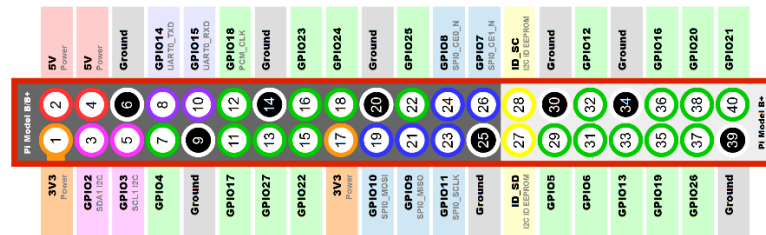
³ Conectores para audio y video de tipo RCA

Figura 11: Raspberry Pi B+.



(Adafruit, 2015)

Figura 12: Raspberry Pi B+ GPIO pins.



(MATT, 2014)

Figura 13: Especificaciones técnicas Raspberry Pi B+.

Specifications	
Chip	Broadcom BCM2835 SoC
Core architecture	ARM11
CPU	700 MHz Low Power ARM1176JZFS Applications Processor
GPU	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	512MB SDRAM
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V, 2A
Connectors:	
Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
Audio Output	3.5mm jack, HDMI
USB	4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
JTAG	Not populated
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	SDIO

(Adafruit, 2014)

V. ANTECEDENTES

El vehículo contaba con un sistema equivalente, el cual tenía problemas para el despliegue eficiente de datos en pantalla, no poseía una interfaz amigable y cómoda para el piloto y tenía deficiencia en la modularidad del módulo existente, es decir no contaba con un diseño que permitiera ir mejorando dicho módulo sin necesidad de destruir el módulo existente. Dicho módulo contaba con una unidad de procesamiento de poca capacidad (Un microcontrolador Arduino) impidiendo el crecimiento del módulo o su mejora.

La estructura del chasis del vehículo es la misma de la fase I. El chasis pone una limitante de espacio.

Figura 14: Vista frontal del chasis del automóvil, fase I y II.



Figura 15: Vista trasera del chasis del automóvil, fase I y II.



VI. DISEÑO EXPERIMENTAL

A. FASES DE TRABAJO

1. Fase inicial. Se realizó un análisis de los antecedentes de manera exhaustiva para poder realizar mejoras que sean determinantes para el módulo existente. Además, utilizar dispositivos que permitan la longevidad y validez de la tecnología a utilizar por una cantidad de años considerablemente larga, a manera que en un par de años no quede obsoleta la tecnología utilizada.

Como primer paso, se seleccionó el microcontrolador o computador sobre el cual se montó este módulo; así mismo el módulo GPS, pantalla que se utilizó para ello.

Una vez obtenido los dispositivos que se tendrán para el desarrollo del módulo, se investigó sobre cómo utilizarlos; códigos para control de interfaz gráfica, implementación GPS seleccionado, control de puertos de microcontrolador o computador seleccionado, programación eficiente para ello.

Con dicha información y ya en posesión de los dispositivos seleccionados, se procedió en dos fases. La fase I la cual pretendió desplegar únicamente la información básica necesaria para el piloto (velocidad, número de vueltas, tiempo). Dicho despliegue en una interfaz gráfica amigable al usuario. La fase II ya implementa todos los sensores del módulo y permite al piloto seleccionar tres diferentes modos de operación para desplegar diferentes datos en pantalla según el modo seleccionado.

2. Fase I. En la fase I como primer paso se procedió al diseño de bloques dentro del módulo y la estructura del mismo. Luego se programó el GPS y el manejo de tiempo en la Raspberry Pi B+. Una vez lista la programación se procedió al diseño de un PCB que permita dinamismo para cambios en el módulo e implementación de nuevos módulos al mismo. Realizado el diseño del PCB, se fabricó y se realizaron pruebas del mismo, para correcciones de la programación o instalación del hardware.

Por último, paso de esta fase, se realizó el case del PCB y PCBs secundarios (Sub módulos). Esta fase se terminó dejando el módulo como producto final para un cliente, es decir para que fuese sencillo para los técnicos y en caso necesario incluso para el piloto la instalación y uso del mismo.

3. Fase II. En la fase II, se procedió a la implementación de nueva programación para los sensores faltantes en la fase I. Así mismo a añadir diferentes modos de despliegue de datos en pantalla, según selección de un switch de tres posiciones.

Una vez realizada esta programación, se procedió a cambiar la configuración del PCB de interconexiones, utilizando el diseño dinámico del mismo. Por último, se hicieron pruebas del mismo para su mejora.

B. DISEÑO, MÓDULOS Y SUB MÓDULOS

Se decidió estructurar por módulos acorde a la figura. En base a ello se decidió los requerimientos de señales y voltajes que necesitaría los módulos y sub módulos (Fig. 22)

Figura 16: Módulos de proyecto

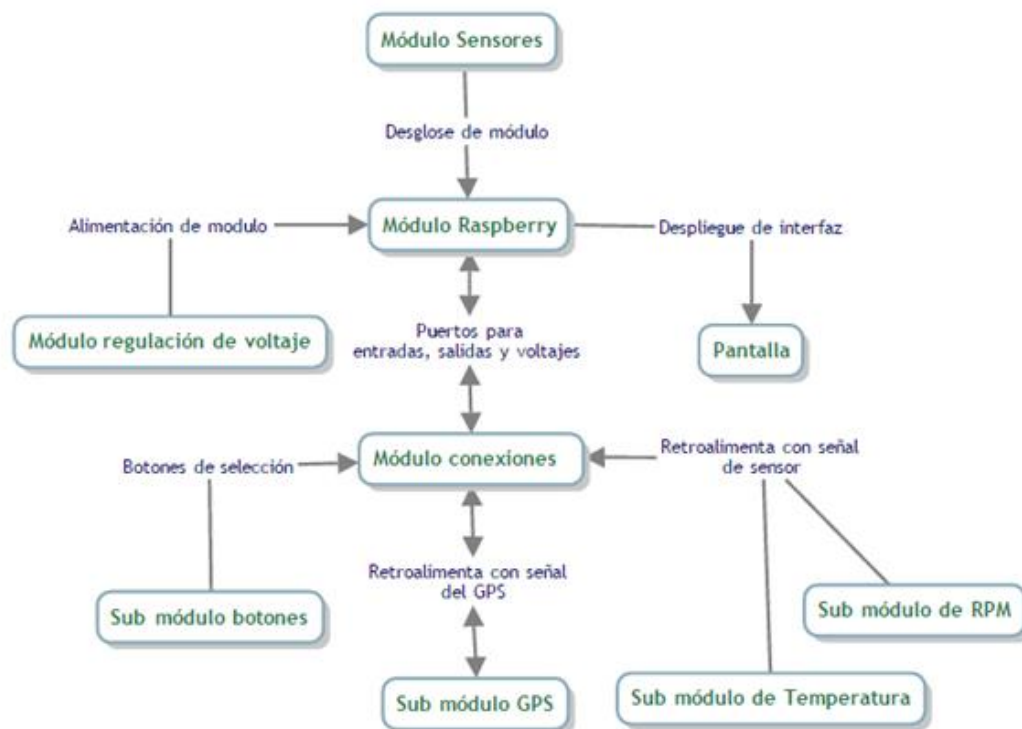
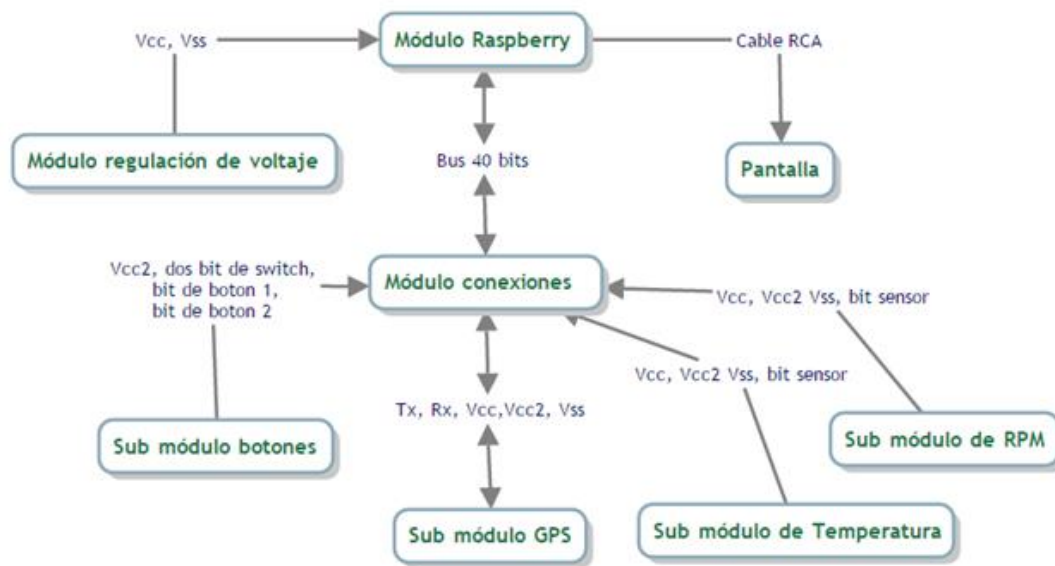


Figura 17: Definición de bits y voltajes por módulos.



1. Módulo Raspberry Pi

Es el módulo de la Raspberry Pi B+ con su encapsulado de fábrica, el cual por medio de un bus de 40 pines se interconecta con el módulo de conexiones. Las únicas conexiones directas en este módulo, son un módulo USB de internet inalámbrico CanaKit y un módulo convertidor de USB a EUSART TTL.

Figura 18: módulo Raspberry Pi B+ con case transparente



. (CanaKit, 2014)

Figura 19: Módulo USB de Wi-Fi CanaKit para Raspberry Pi. Este módulo se instaló para futuras implementaciones que requieran conexión a internet o Wi-Fi.



(CanaKit, 2014)

Figura 20: Módulo Convertidor USB a UART TTL serial CP2102.



2. Pantalla. La pantalla despliega la interfaz gráfica programada para presentar datos de los sensores y cálculos de interés del piloto, según el modo seleccionado de despliegue de datos. (mxgxw, 2013)

Figura 21: Pantalla LCD de 3.5 pulgadas, resolución 640x480.



Figura 22: Datos técnicos de pantalla LCD

Ítem	Rango
Voltaje de operación	6-36 V DC
Consumo de potencia	< 3 W
Humedad del ambiente	10%-80%
Temperatura de operación	0°C - 60°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C - 85°C
Tamaño de display	3.5"
Sistema	PAL/NSTC
Video	AV1/AV2
Tipo	Digital TFT LCD

3. Módulo de regulación de voltaje. Este módulo se diseñó para regular de 12 volts DC a 5 volts DC, para alimentar a la Raspberry Pi B+, capaz de suministrar hasta 4 amperios de corriente.

Figura 23: Esquemático de regulador de voltaje. Diseñado en Altium Designer.

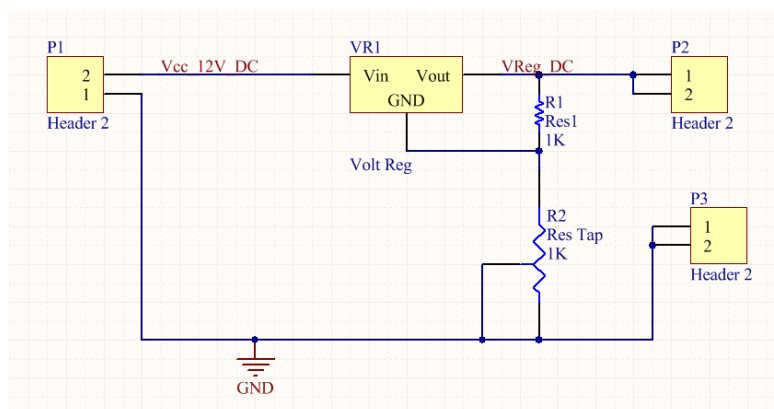
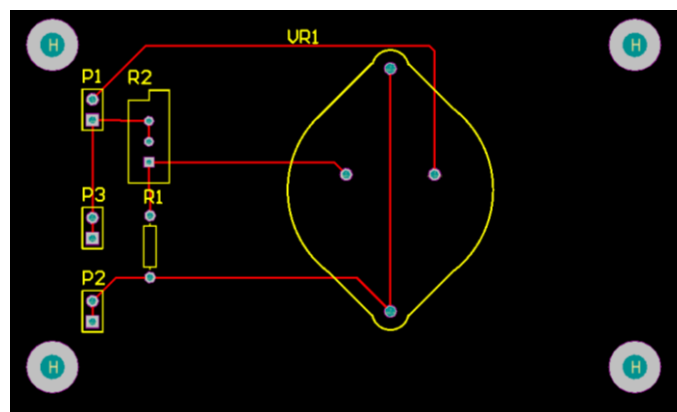


Figura 24: Diseño de PCB de módulo Regulador en Altium Designer.



4.Sub módulo Conexiones. Este es donde se conectan los sub módulos de los diferentes sensores que puede tener el módulo. Así mismo en este se conecta el GPS.

Este módulo tiene varias salidas tipo Ethernet con la peculiaridad que en cada salida hay pines libres para entradas o salidas, voltajes de 5.0 Volts (Vcc), 3.3 Volts (Vcc2) y 0 Volts (Vss). Cada puerto lleva a pines macho para que por medio de “Jumpers” este módulo permita hacer diferentes interconexiones con las salidas o entradas de las Raspberry B+ según la necesidad del desarrollador.

Primero se desarrolló las interconexiones entre los componentes de puestos para RJ-47 y los headers que para interconexión entre estos y los pines de la Raspberry Pi B+

Figura 25: Esquemático de módulo de interconexiones diseñado en Altium Designer.

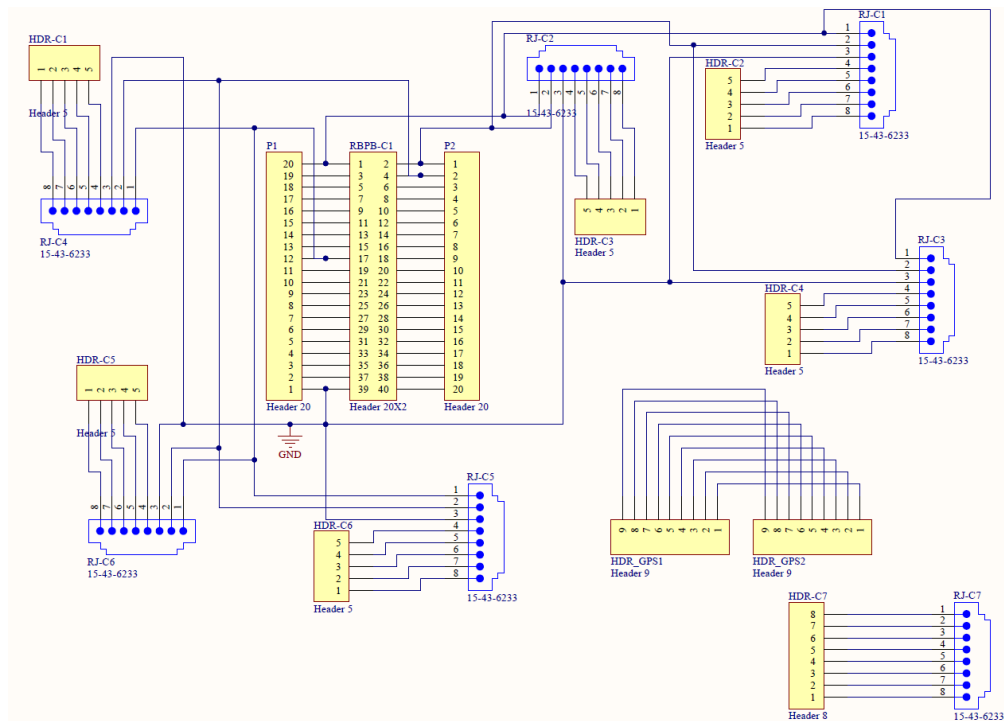
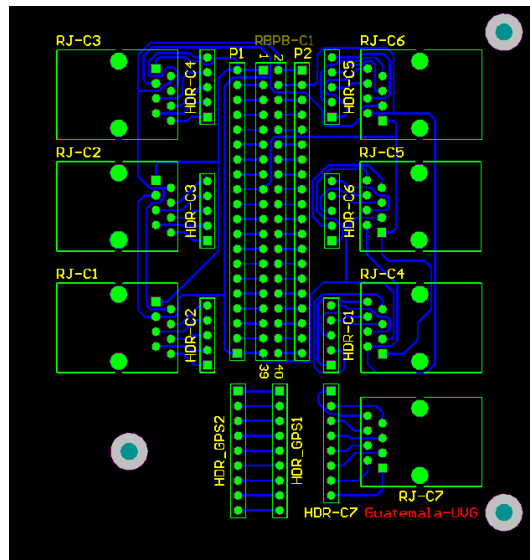
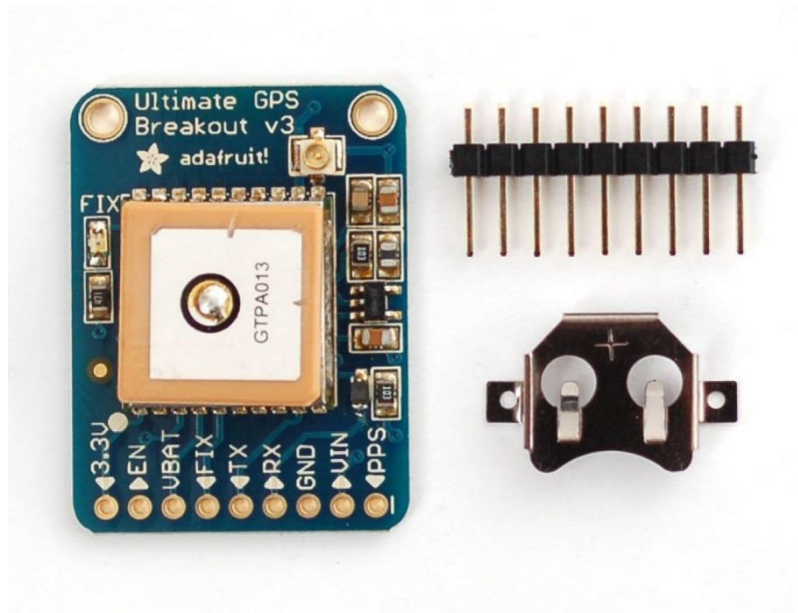


Figura 26: Diseño de PCB de módulo de interconexiones en Altium Designer.



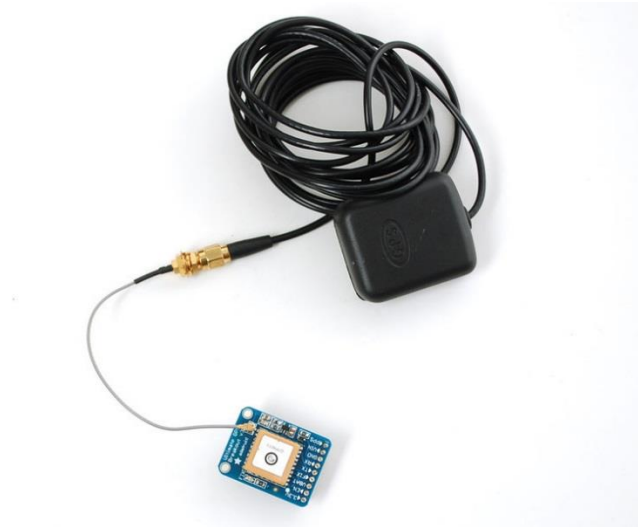
5. Sub módulo de GPS. Este sub módulo es una GPS adafruit (“Ultimate GPS breakout V3 - Adafruit”). Este tiene las siguientes características técnicas. (Townsend, 2014)

Figura 27: *Ultimate GPS Adafruit.*



(Adafruit, 2015)

Figura 28: Sub módulo GPS con su antena.



(Adafruit, 2015)

Figura 29: Datos técnicos de Ultimate GPS breakout V3

- -165 dBm sensitivity, 10 Hz updates, 66 channels
- 5V friendly design and only 20mA current draw
- Breadboard friendly + two mounting holes
- RTC battery-compatible
- Built-in datalogging
- PPS output on fix
- >25Km altitude
- Internal patch antenna + u.FL connector for external active antenna
- Fix status LED

(Ada, 2014)

6. Sub módulo de RPM. Este módulo interconecta el sensor de RPM, un sensor inductivo de 12 Volts DC con el módulo de conexiones. Este permite que el sensor envíe un voltaje de 3.3 Volts a la Raspberry Pi B+ cada vez que el eje del motor realice una vuelta. A continuación, se presentan los datos técnicos del sensor inductivo.

Figura 30: Esquemático de sub módulo de RPM. Diseñado en Altium Designer.

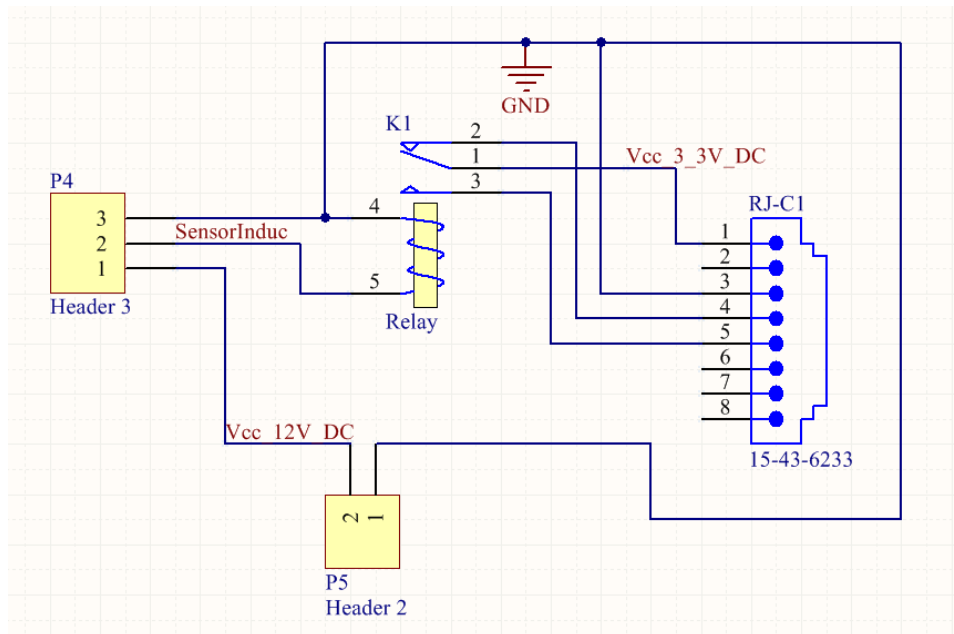
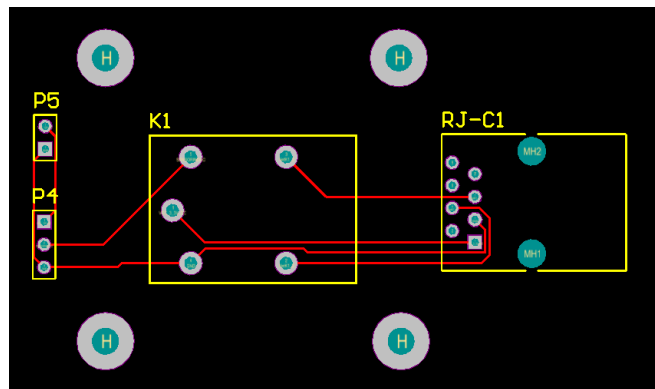


Figura 31: Diseño de PCB de módulo de RPM en Altium Designer.



7. Sub módulo de temperatura. Este módulo interconecta el sensor de temperatura DS18B20 (Integrated, Maxime, 2015; Integrated, maxim, 2015) de encapsulado metálico, de 3.0/5.0 Volts DC con el módulo de conexiones. Este permite una resolución de 9 a 12 bits. A continuación se presenta los datos técnicos del sensor DS18B20 (Monk, 2015)

Figura 32: Esquemático de sub módulo de temperatura. Diseñado en Altium Designer.

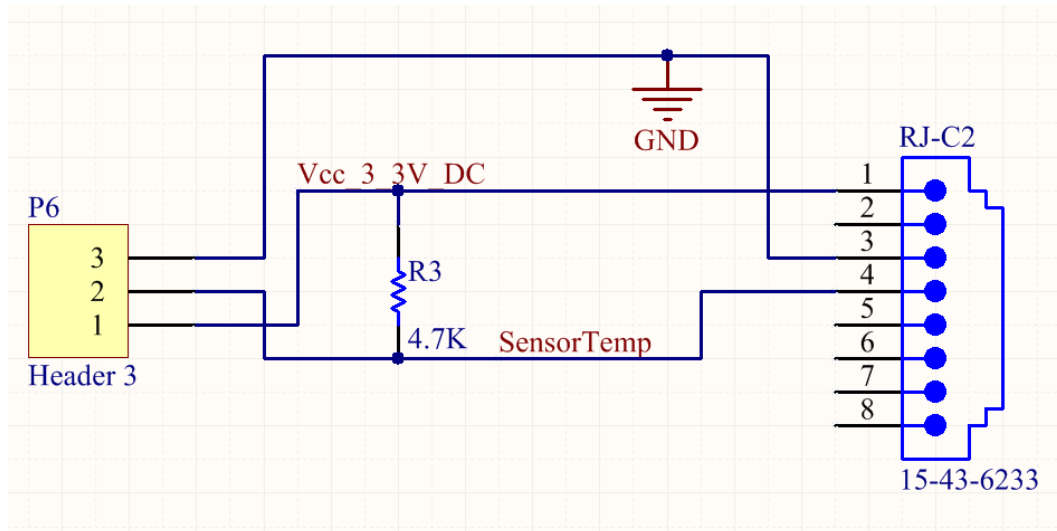
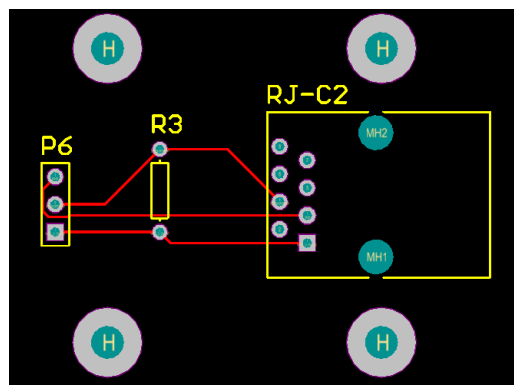


Figura 33: Diseño de PCB de módulo de temperatura en Altium Designer.



8. Sub módulo de botones. Este módulo tiene la interfaz de botones que mandan las señales que corresponden a una función específica según el modo en que se encuentres el sistema, seleccionado también por medio de una switch de tres posiciones en este mismo módulo.

Dicho módulo encapsulado con una caja plástica con un cable de interconexión con un RJ-45 acorde a especificaciones del módulo de conexión.

El módulo tiene un switch y tres botones con las siguientes funcionalidades:

- Switch de tres posiciones: Selecciona el modo a utilizar.
- Botón 3: Reinicio de Raspberry Pi B+

El sistema tiene dos botones con las siguientes funcionalidades según el modo que se encuentre:

a. Modo Competencia:

- 1) Botón 1: Establecer punto de meta nuevo. Actualiza la posición GPS de la meta.
- 2) Botón 2: Reinicia tiempo restante de competencia y numero de vueltas realizadas por el piloto.

b. Modo Prueba:

- 1) Botón 1: Establecer punto de referencia nuevo. Actualiza la posición GPS de un punto específico.
- 2) Botón 2: Cambia si desea ver RPM numéricamente o con colores para indicar cambios de velocidad.

c. Modo Normal:

- 1) Botón 1 Reinicia Kms recorridos y tiempo transcurrido desde que inicio el sistema o se reinició por última vez.
- 2) Botón 2: Reinicia segunda variable de Kms recorridos y tiempo transcurrido desde que inicio el sistema o se reinició por última vez.

VII. RESULTADOS

A. DISEÑO Y MÓDULOS

Resultados de implementación de diseño.

1. Módulo Raspberry Pi

Figura 34: Módulo Raspberry Pi, armado. Implementación final. A la derecha sale el bus de 40 bits.

En la parte superior izquierda del módulo se aprecia el módulo de Wi-Fi.



2.Pantalla. La pantalla despliega la interfaz gráfica programada para presentar datos de los sensores y cálculos de interés del piloto, según el modo seleccionado de despliegue de datos. La pantalla seleccionada tiene los siguientes datos técnicos.

Figura 35: Implementación final de pantalla LCD. Despliegue de datos en pantalla. Se puede apreciar el módulo de competencia.



3.Módulo de Regulación de voltaje. Este módulo regula de 12 volts DC a 5 volts DC, para alimentar a la Raspberry Pi B+, capaz de suministrar hasta 2 amperios de corriente.

Figura 36: Implementación final de módulo de regulación de voltaje. En la bornera P1 se conecta 12 Volts DC y 0 Volts DC. En la bornera P3 es salida de 0 Volts DC y en la bornera P2 es salida de 5 Volts DC.

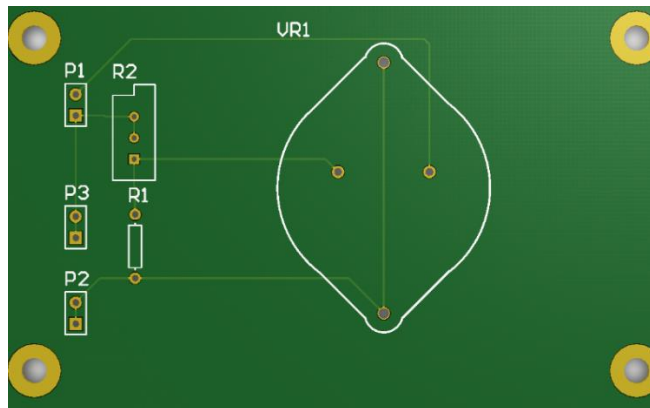
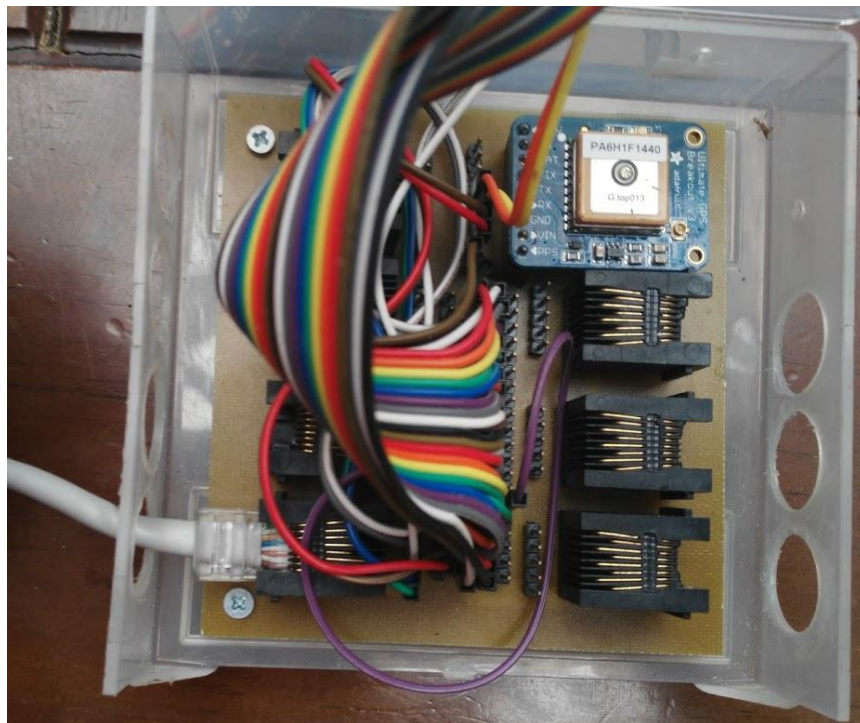


Figura 37: Módulo regulación implementado. En un encapsulado plástico, con un disipador de calor.



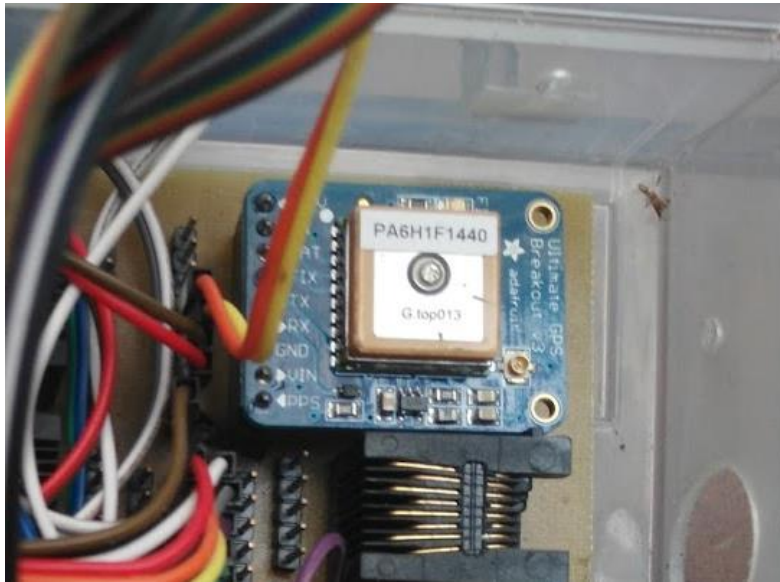
4. Sub módulo Conexiones

Figura 38: implementación final de módulo de conexiones. Se observa el bus de 40 pines (el bus de varios colores), un cable Ethernet proveniente de un sub módulo, el módulo GPS en la esquina superior derecha y varios puertos Ethernet para interconectar otros módulos. Los jumpers en la imagen interconectan las entradas de los puertos Ethernet con los pines del bus de 40 bits de la Raspberry pi.



5. Sub módulo de GPS

Figura 39: Módulo GPS, “Ultimate GPS Breakout V3” instalado en módulo de interconexiones. Los pines del PCB se interconectan con el módulo de USB a EUSART TTL instalado en el módulo de la Raspberry.



6.Sub Módulo de RPM. Este módulo interconecta el sensor de RPM, un sensor inductivo de 12 Volts DC con el módulo de conexiones. Este permite que el sensor envíe un voltaje de 3.3 Volts a la Raspberry Pi B+ cada vez que el eje del motor realice una vuelta.

Figura 40: Implementación final de sub módulo de RPM. Este tiene en la bornera P5 entradas para 12 Volts DC y 0 Volts DC. Y en la bornera P4 salidas de 12 Volts DC, 0 Volts DC y una entrada para la señal del sensor NO.

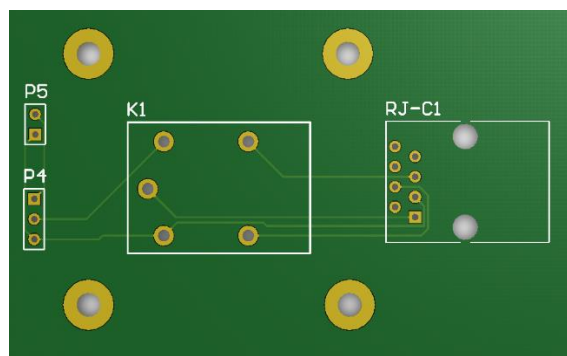


Figura 41: Sensor inductivo implementado, sensor NPN normalmente abierto de 12mm. El sensor implementado tiene dos salidas, una NO y otra NC, se implementó la salida NO. Si alimentación es de 12 Volts DC.



7. Sub módulo de temperatura. Este módulo interconecta el sensor de temperatura DS18B20 (Integrated, Maxime, 2015; Integrated, maxim, 2015) de encapsulado metálico, de 3.0/5.0 Volts DC con el módulo de conexiones. Este permite una resolución de 9 a 12 bits.

Figura 42: Implementación final de sub módulo de sensores. Las borneras tienen salida de 3.3 Volts DC, 0 Volts DC y una entrada para la señal serial del sensor.

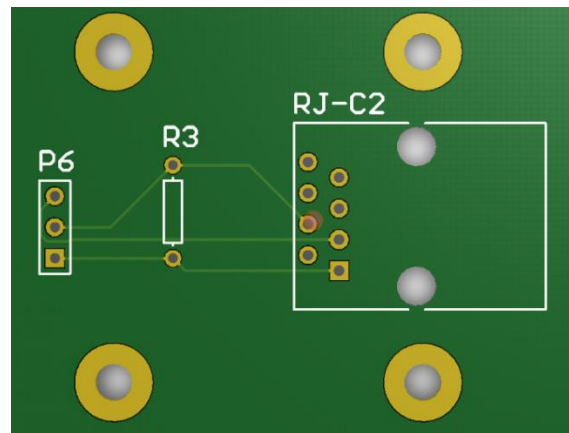


Figura 43: Sensor de temperatura DS18B20 en un encapsulado metálico. Este se conecta a las borneras P6 de la figura. Con un rango de medición de temperatura de -55°C a 125°C .



8. Sub módulo de botones

Figura 44: Sub módulo de botones. Con dos botones NO, un botón NC y un switch de tres posiciones NO. Todo encapsulado en una caja plástica. Teniendo de salida un cable con un conector RJ-45.

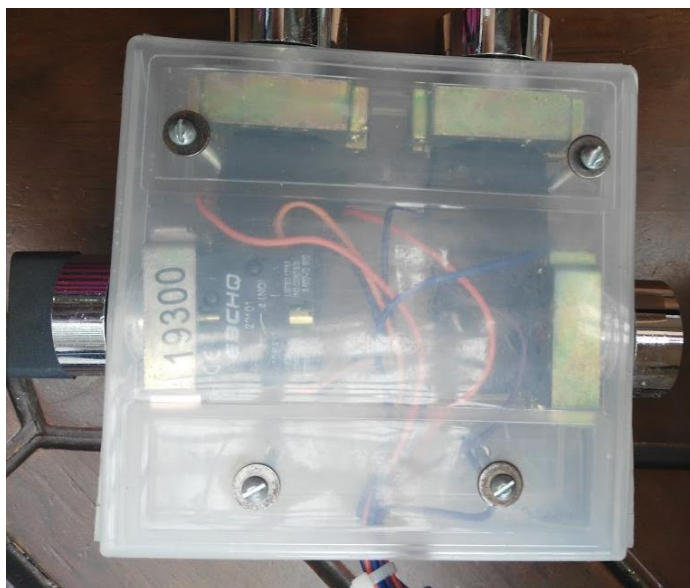


Figura 45: Sub módulo de botones. Con dos botones NO (verdes), un botón NC (Rojo) y un switch de tres posiciones NO (negro).



B. IMPLEMENTACIÓN FINAL DEL MÓDULO COMPLETO

Figura 46: interconexión de módulo de interconexiones y módulo Raspberry. Se aprecia la interconexión del módulo GPS en el módulo de interconexiones y su conexión con el módulo de USB a EUSART TTL instalado en el módulo Raspberry.



Figura 47: Especificaciones técnicas del módulo.

Ítem	Rango
Voltaje de operación	12 V DC
Consumo máximo	3 A
Consumo mínimo	900 mA
Humedad del ambiente	10%-80%
Temperatura de operación	0°C - 60°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C - 85°C

Figura 48: Costos del proyecto.

Item	Cantidad	Precio	Sub total
Adafruit Ultimate GPS Breakout	1	\$60.00	\$60.00
3.5 Inch TFT LCD Monitor for Car / Automobile	1	\$19.00	\$19.00
Raspberry Pi Model B+ (B Plus) Starter Kit w/Case, 8GB Pre-Loaded SD Card (NOOBs), Power Supply, Wi-Fi module.	1	\$75.00	\$75.00
Sensor inductivo NPN 12 mm NO	1	\$25.00	\$25.00
Sensor de temperatura DS18B20 encapsulado metálico	2	\$5.00	\$10.00
Relé de 12 Volts DC contactos NO y NC	1	\$1.00	\$1.00
Regulador de Voltaje LM338	1	\$10.00	\$10.00
Headers (12 pines c/u)	10	\$0.31	\$3.13
Puertos RJ-45	10	\$0.31	\$3.13
Conectores RJ-45	20	\$0.31	\$6.25
Cable UTP (metro)	10	\$0.31	\$3.13
Cable 14 AWG (metro)	1	\$0.31	\$0.31
Controlador USB a EUSAR TTL	1	\$8.75	\$8.75
Resistencia de 1K	1	\$0.06	\$0.06
Resistencia de 4.7K	1	\$0.06	\$0.06
Potenciómetro de precisión de 5K	1	\$0.63	\$0.63
Borneras de 2	6	\$0.63	\$3.75
Borneras de 3	6	\$0.63	\$3.75
Jumpers unidos tipo bus	50	\$0.31	\$15.63
Jumpers	10	\$0.31	\$3.13
Estaño (metro)	5	\$6.25	\$31.25
Disipador de calor	1	\$1.00	\$1.00
Placas	10	\$7.00	\$70.00
Total			\$353.94

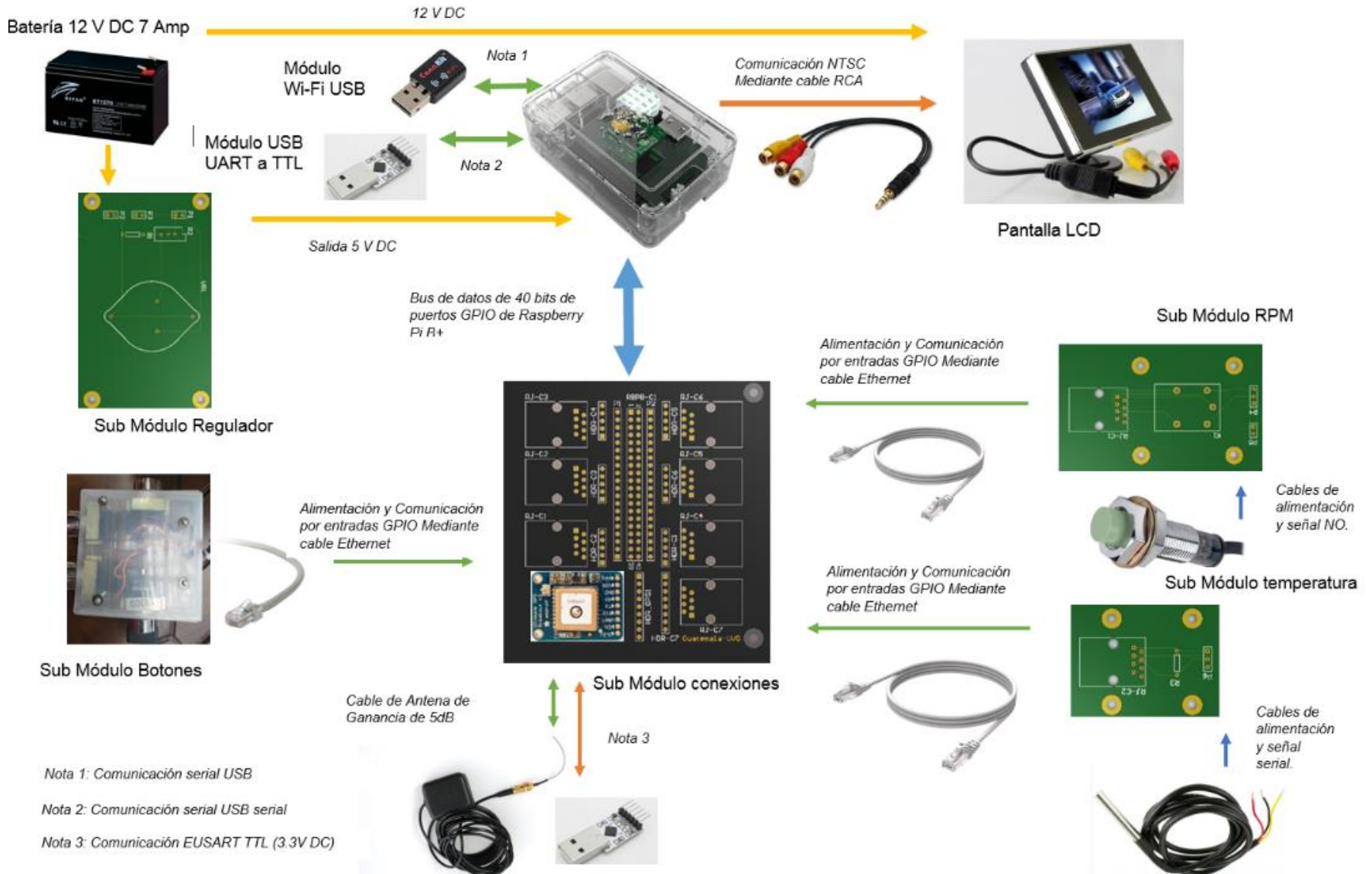
Figura 49: Módulo de sensores fase I instalado en el automóvil. Primero se aprecia el módulo de regulación, luego el módulo de interconexión y por último el módulo Raspberry.



Figura 50: Módulo de sensores completo.



Figura 51: Módulos y sub módulos implementados, con sus respectivos sensores. Se puede notar que en el sub módulo de conexiones está instalado el módulo GPS. Se puede apreciar mejor su interconexión con el módulo de Raspberry en la figura 49.



VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Lo primero se realizó un análisis del módulo existente. Dicho módulo utilizaba un Arduino y tenía un PCB que únicamente tenía entradas con RJ-45 y borneras para una cantidad muy limitada de sensores. La pantalla que utilizaba era una LCD a colores, dicha pantalla además de ser muy pequeña, impedía que el piloto pudiera ver de manera fácil los datos desplegados en ella. También tenía el inconveniente de tener un LAG para presentar datos en pantalla y estaba quebrada la misma. Este módulo integraba el Arduino, el GPS, memoria SD, regulador de voltaje y puertos RJ-45 en un solo PCB. Al momento de querer mejorar alguna parte de este módulo se tenía que hacerse un nuevo PCB, así como para cambiar alguno de los componentes como para utilizar otros GPIO del Arduino. Este sistema estaba instalado en el área del motor, la cual maneja temperaturas ambiente fuera del rango de operación recomendado por Arduino.

Al momento de querer hacer mejoras no se pudo re utilizar el módulo existente. Por lo cual se empezó el proceso de diseño de un nuevo módulo. Este diseño se empezó realizando un diagrama de bloques de como estaría estructurado el módulo completo. Como se puede apreciar en la Figura 22. Se estructuró de tal manera hubiera sub módulos que se interconectarán con el módulo de procesamiento, en este caso una Raspberry Pi B+.

Se decidió utilizar un SBC para realizar el proyecto, dado que este no solo ocupa poco espacio, sino además proporciona mucha capacidad de procesamiento y despliegue de datos en una pantalla gráfica LCD o similar, sino además no da versatilidad en cambios de código para el futuro. Se escogió específicamente la Raspberry Pi B+ (Fig. 17) (Adafruit, 2015) debido a que cuando se analizó el proyecto era el modelo más avanzado de Raspberry Pi. Teniendo una amplia variedad de otras marcas de SBC en el mercado, incluso algunas con mayor capacidad de procesamiento, se escogió este dado que tiene capacidad suficiente para desarrollar programación de un módulo que pudiera incluir desde programación para comunicación de datos como el procesamiento de estos y además dentro de la universidad se ha utilizado modelos previos de la Raspberry Pi, teniendo más familiaridad con esta marca de SBC. Otro factor importante para la elección de este SBC fue su disponibilidad en el mercado de Guatemala, otros SBC no se encuentran con facilidad mientras que la Raspberry Pi sí. Además, comparado con el Arduino más potente (Arduino DUE) que tiene un reloj de 84 MHz (Fig. 16) versus los 700 MHz de la Raspberry Pi B+ le superan por mucho. Además, que la Raspberry Pi B+ tiene su propia unidad de procesamiento de gráficos (GPU) que le permite desplegar cualquier interfaz gráfica con más rapidez que un microcontrolador de cualquier tipo.

Una vez escogido el SBC, se procedió a analizar que requería el piloto en la pantalla. Él requería RPM, velocidad, conteo de vueltas en la pista, temperatura en la cabina y en el área del motor, cronometro para tiempo máximo de competición e indicador de cambio de velocidad. Además, se requirió conexión de sistema eléctrico de la bocina y alimentación del automóvil mediante una batería de 12 Volts.

El GPS “Ultimate GPS Breakout V3” se escogió debido al tamaño del mismo y dado que hay bastante documentación de la Raspberry Pi con este modelo de GPS. Además, las características técnicas del mismo son idóneas para el proyecto. Al momento de adquirir el mismo se escogió agregarle una antena de ganancia de 5dB para no tener problemas de conexión en la ciudad. Como puede apreciarse en la figura 2, la competencia se realizó en medio de una ciudad de Detroit, Estados Unidos. Fue necesario el uso de un convertidor USB a EUSART TTL para la utilización del módulo GPS (Figura 25).

Se procedió a programar la Raspberry Pi obteniendo los datos del GPS para obtener la velocidad y el conteo de vueltas. Todo el sistema se programó utilizando el lenguaje de programación Python.

Durante esta primera fase se realizó un módulo de regulación de voltaje, el cual regula de 12 volts DC a 5 volts DC que alimenta a la Raspberry Pi B+ (Figuras 26, 27 y 39). Se diseñó el módulo de regulación a manera de tener la capacidad de alimentar la Raspberry Pi B+ sin problema (requiere dos amperios máximo) y poder utilizarse este módulo para alimentar otros módulos de ser necesario, para lo cual se dejaron borneras que permiten conexión para varios dispositivos. Un problema que se encontró al momento de fabricar el módulo fue que al requerir más amperaje el integrado se calienta, lo cual es normal, pero sin un disipador de calor este se apaga por protección. La temperatura de operación de este impide que se pueda obviar el uso de este, además que es ideal una ventilación en el área de instalación. La competencia al realizarse en un estado de temperaturas bajas, es ideal sin embargo es importante considerar que la ventilación es importante para este módulo.

Para terminar con la primera parte del módulo se diseñó el módulo de interconexiones. Es importante hacer notar que dicho diseño se realizó a manera que quedaran en cada puerto RJ-45 3 pines con los voltajes de 3.3 Volts, 5.0 Volts y 0 Volts. Y los otros 5 pines destinados a uso de un sub módulo, según diseño del sub módulo y/o implementación del código. Estos 5 pines del RJ-45 terminan en headers para interconectar con los pines de la Raspberry pi B+ mediante Jumpers, según la necesidad del diseñador.

El bus que interconecta el módulo de la Raspberry Pi B+ con el módulo de interconexión (Fig. 41), el cual tiene pines para cada uno de los pines de la Raspberry Pi B+ que interconecta el bus de 40 pines. Es decir, en el PCB quedan los pines GPIO de la Raspberry Pi (Fig. 18) en el módulo de interconexiones permitiendo que los pines de los headers se interconecten con los pines de los headers de los puertos RJ-45 mediante Jumpers. Futuros desarrolladores podrán modificar la interconexión de estos pines mediante Jumpers, permitiendo desarrollo de este módulo sin necesidad de eliminar el módulo existente.

Este módulo se diseñó a manera de ocupar el menor espacio posible dentro del automóvil y dado que el Megaproyecto de la Shell Eco Marathon que sigue en desarrollo este módulo de interconexiones permite continuar sin desechar los módulos existentes como se tuvo que hacer en esta segunda fase del Megaproyecto. Permitiendo que no solo se utilice este módulo en este proyecto, sino que es un módulo que permite acoplarse a cualquier tipo de proyecto y se acopla a las necesidades del mismo. Teniendo salidas genéricas en puertos RJ-45. Que permiten la interconexión de sub módulos a este. Sub módulos que se pueden rediseñar o crear según las nuevas necesidades que se le presenten, sin necesidad de Rediseñar el PCB que interconecta el SBC con los sub módulos. Una vez, en el futuro, se escoja no cambiar más el diseño del módulo de sensores se podría optar por rediseñar un PCB fijo y final que quedaría estático a la configuración de cada sub módulo.

Los sub módulos de temperatura y RPM acoplan el sensor inductivo y de temperatura con por puestos RJ-45. Los cuales por medio de un cable con conectores RJ-45 se conectan al módulo de conexiones. Al igual que el módulo de botones realizado.

El PCB de conexiones es el centro del módulo, el que permite la interconexión de cualquier sub módulo que incluya el módulo de sensores, como puede apreciarse en la figura 52.

Una vez teniendo el módulo de conexiones y botones se procedió a realizar el modo de competencia. Dicho módulo se realizó sin el uso de interrupciones en la fase I, pero una vez iniciada la fase II (cálculo de RPM y temperatura mediante sub módulos) se implementó interrupciones para tener un código más eficiente, puesto que el refrescamiento de la pantalla se hizo lento, impidiendo que el piloto tuviera los datos en tiempo real. El módulo Wi-Fi en el módulo Raspberry es para futuras implementaciones usando una red Wi-Fi o bien para una conexión a internet durante el desarrollo de la programación para el módulo.

La calibración de la velocidad fue mediante el uso de un automóvil con pantalla digital, el mayor error a una velocidad constante fue de 4% entre la velocidad indicada por el automóvil y el módulo de sensores, sin embargo, se da en momentos en que se pasa en pasos a desnivel o similares debido a que la velocidad se calcula mediante el GPS, sin este factor el error es menor a 1%. La calibración del sensor de temperatura se realizó con un termómetro digital, el error fue del 0% una vez calibrado.

Los costos del proyecto son muy bajos en relación a sistemas similares ya instalados en automóviles de uso diario. El consumo eléctrico es bastante bajo y necesario para este tipo de sistemas y el costo hacen que este módulo sea ideal para automóviles ultra eficientes en proceso de diseño.

La complicación más grande de la implementación del proyecto fue el acople con las estructura del automóvil, puesto que este es tan reducido que no tenía muchas opciones donde colocar el módulo, como puede apreciarse en la Figura 19 y 20. El módulo en la fase I, se instaló en un lateral del vehículo donde tenía espacio suficiente y buena ventilación; sin embargo el vehículo debe desarmarse para su traslado y durante inspecciones en la competencia lo cual requerían, provocando que el módulo se golpeará constantemente. Debido a esto el módulo se instaló en la parte baja del asiento del piloto, sin embargo, por estar muy cerca del suelo, está expuesta a vibraciones mecánicas más fuertes y además tiene un espacio más reducido, sin ventilación. La ventilación es un factor importante, puesto que afecta directamente la electrónica y además el módulo de regulación lo requiere.

Un problema con la implementación es al momento de perder conexión con el GPS, puesto que se debe mejorar la forma de re conexión a los satélites, dado que tarda demasiado en re conectar, al punto que en ocasiones es necesario reiniciar el sistema.

Un factor importante a considerar es la forma de despliegue de datos al piloto, se decidió utilizar varios modos para presentar los datos, para que el piloto no tuviera todas las variables que puede manejar este módulo simultáneamente. Todas las variables distraen al piloto y pierde funcionalidad el módulo de despliegue gráfico. No se debe sobre cargar que se le muestra al piloto, en especial por tener tan poco espacio dentro del vehículo.

IX. CONCLUSIONES

1. El sistema desarrollado puede utilizarse en diferentes aplicaciones, ya que permite realizar cambios en el mismo para agregarle nuevos módulos o quitar existentes según las necesidades del proyecto al que se quiera adaptar.
2. Utilizar un MCU⁴ (una Raspberry Pi, en este caso) es vital para el desarrollo de proyectos en el área de automóviles ultra eficientes en desarrollo, este tipo de aplicaciones requiere de un sistema versátil para cambios en la programación por cambios de hardware y suficiente capacidad de procesamiento para la interfaz gráfica.
3. El despliegue de datos amigable y claro al usuario fue determinante para el piloto. La forma de despliegue y los colores utilizados fueron las modificaciones finales que pidió el piloto para poder utilizar de manera eficaz el módulo de sensores.
4. Se logró desplegar los datos de RPM, Velocidad (con una precisión en la velocidad de 0.1 m/s y una velocidad máxima de 55 m/s dada por el GPS (Adafruit, 2015)), temperatura (usando termómetros DS18B20 en un encapsulado metálico. Con un rango de medición de temperatura de -55°C a 125°C (Integrated, Maxime, 2015)), conteo de vueltas (con una precisión de ± 3 metros en la ubicación dada por el GPS (Adafruit, 2015)) y el despliegue de estos datos en pantalla en una interfaz gráfica en una pantalla LCD.

⁴ Multi board computer

X. RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda incorporar un módulo de comunicación para transmitir los datos recuperados a un ordenador para un análisis más detallado de los mismos.
2. Acoplar la pantalla al diseño interno de la cabina del automóvil, cada vez que se transporta el automóvil se desacopla la pantalla provocando reinstalarla continuamente.
3. Buscar una mejor ubicación final para el módulo, a manera de mantener lo más seguro posible el sistema y en mejores condiciones de operación. Actualmente se encuentra cerca del suelo en un área no ventilada y caliente, sería ideal un área más ventilada y menos propensa a daños. El módulo se podría colocar en uno de los costados internos de la carrocería, pero hasta no estar fija esta no es un mejor lugar. También se podría crear una mejor ventilación haciendo modificaciones a la carrocería, ya sea mejorando la ventilación del área del motor o donde está actualmente el módulo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Ada, I. (2014). *Adafruit Ultimate GPS*. Recuperado el abril de 2015, de <http://digitalmedia.architecture.yale.edu/sites/default/files/files/arduino/adafruit-ultimate-gps.pdf>
- Adafruit. (2014). *Introducing the Raspberry Pi Model B+*. (Raspberrypi.org) Recuperado el Abril de 2015, de <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/introducing-the-raspberry-pi-model-b-plus-plus-differences-vs-model-b.pdf>
- Adafruit. (2014). *Raspberry Pi B+*. (Raspberrypi.org) Obtenido de <https://www.adafruit.com/datasheets/pi-specs.pdf>
- Adafruit. (2015). *Adafruit Ultimate GPS Breakout - 66 channel w/10 Hz updates - Version 3*. (<http://www.adafruit.com/>) Recuperado el octubre de 2015, de <http://www.adafruit.com/products/746>
- Adafruit. (Enero de 2015). *Introducing the Raspberry Pi Model B+*. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/introducing-the-raspberry-pi-model-b-plus-plus-differences-vs-model-b.pdf>
- Adafruit. (2015). *Raspberry Pi B+*. (<https://www.adafruit.com>) Recuperado el Octubre de 2015, de <https://www.adafruit.com/products/1914>
- Ali M. Niknejad, R. G. (2010.). *Analysis of Eddy-Current Losses Over Conductive Substrates with Applications to Monolithic Inductors and Transformers*. Obtenido de <http://rfic.eecs.berkeley.edu/~niknejad/pdf/mtt01.pdf>
- Arduino.cc. (Enero de 2015). *Introduction, What is Arduino?* Obtenido de Arduino.cc: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Arduino. (2015). *Arduino Board Due*. (<https://www.arduino.cc/>) Recuperado el octubre de 2015, de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>
- Autonics. (2015). *Autonics, sensors and controllers*. (<https://www.autonics.com/>) Recuperado el Octubre de 2015, de <https://www.autonics.com/>
- BeagleBone. (2015). *BeagleBone Black*. (beagleboard.org) Recuperado el octubre de 2015, de <http://beagleboard.org/BLACK>
- Bradley, A. (Enero de 2015). *Inductive proximity sensors*. Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/c116-ca502_-en-p.pdf
- CanaKit. (2014). *Raspberry Pi B+ - Complete Starter Kit*. (<http://www.canakit.com/>) Recuperado el Octubre de 2015, de <http://www.canakit.com/raspberry-pi-starter-kit.html>
- Diéguez, J. L. (3 de marzo de 2015). *ROBOT RECORRE TUBERIAS. CIRCUITO Y FUNCIONAMIENTO SENSOR HC-SR04*. Recuperado el Octubre de 2015, de <http://granabot.es/robot-recorre-tuberias-circuito-y-funcionamiento-sensor-hc-sr04/>

- Diosdado, R. (Febrero de 2015). *Sensor de ultrasonidos HC-SR04*. Obtenido de Zona Marker: <http://www.zonamaker.com/arduino/modulos-sensores-y-shields/ultrasonido-hc-sr04>
- Frantz, P. (s.f.). *What is a Microcontroller?* Recuperado el 20 de 02 de 2013, de <http://cnx.org/content/m11655/latest/>
- Goblin. (2015). *Goblin control industrial*. (<http://www.goblincontrol.com.mx/>) Recuperado el octubre de 2015, de <http://www.goblincontrol.com.mx/>
- Hassig, S. (Enero de 2015). *Single-Board Computer (SBC) Hardware and Software Capabilities for Real-Time Processing*. Obtenido de <http://www.ece.gatech.edu/>: <http://www.ece.gatech.edu/academic/courses/ece4007/10spring/ECE4007L04/tm1/TRP2.pdf>
- Industrial, G. C. (Agosto de 2015). *Sensores fotoeléctricos*. Obtenido de <http://www.rim.com.mx/>: <http://www.rim.com.mx/enfoquerim/3/90338.html>
- Instruments, National. (Enero de 2015). *Sensores de temperatura*. Obtenido de <http://www.ni.com/>: <http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>
- Integrated, maxim. (Enero de 2015). *GLOSSARY OF ELECTRICAL ENGINEERING TERMS*. Obtenido de <https://www.maximintegrated.com/>: <https://www.maximintegrated.com/en/glossary/definitions.mvp/>
- Integrated, Maxime. (15 de Febrero de 2015). *Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer DS18B20*. Obtenido de www.maximintegrated.com/: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- Kean, L. E. (Enero de 2010). *Microcontroller to Intel Architecture Conversion*. Obtenido de <http://www.intel.com/>: <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/microcontroller-ia-conversion-paper.pdf>
- Lappin, A. (2015). (<http://www.bytecreation.com>) Recuperado el octubre de 2015, de Using an Ultrasonic Sensor (HC-SR04) on a Raspberry Pi with Python: <http://www.bytecreation.com/blog/2013/10/13/raspberry-pi-ultrasonic-sensor-hc-sr04>
- Lappin, A. (Agosto de 2015). *Using an Ultrasonic Sensor (HC-SR04) on a Raspberry Pi with Python*. Obtenido de Byte Creation: <http://www.bytecreation.com/blog/2013/10/13/raspberry-pi-ultrasonic-sensor-hc-sr04>
- MATT. (Mayo de 2014). *Raspberry Pi B+ GPIO Header Details And Pinout*. (<http://www.raspberrypi-spy.co.uk/>) Recuperado el Abril de 2015, de <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2014/07/raspberry-pi-b-gpio-header-details-and-pinout/>
- Microchip. (2015). *Microchip*. Recuperado el octubre de 2015, de <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC16F887>
- Mikroelektronika. (2015). *Nano GPS click*. (<http://www.mikroe.com>) Recuperado el Octubre de 2015, de <http://www.mikroe.com/click/nano-gps/>

- Monk, S. (2015). *Adafruit's Raspberry Pi Lesson 11. DS18B20 Temperature Sensing*. Recuperado el Abril de 2015, de <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruits-raspberry-pi-lesson-11-ds18b20-temperature-sensing.pdf>
- mxgxw. (2013). *Velocimetro Digital con la Raspberry Pi y el GPS Venus*. Recuperado el Abril de 2015, de <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=76&t=44881>
- ProSense®. (2015). *ProSense® Temperature Sensors & Transmitters*. (<http://www.automationdirect.com/>) Recuperado el Octubre de 2015, de http://www.automationdirect.com/adc/Overview/Catalog/Process_Control_-_Measurement/Temperature_Sensors_-_Transmitters
- Raspberrypi.org. (Enero de 2015). *WHAT IS A RASPBERRY PI?* Obtenido de Raspberrypi.org: <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>
- Shell. (2015). *About Shell Eco-marathon*. Recuperado el octubre de 2015, de <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon/about.html>
- Shell. (2015). *Shell Eco-marathon Americas 2016 Overview*. Recuperado el octubre de 2015, de <http://s02.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/americas/sem-americas-2016-overview-slides-030615.pdf>
- Skillten, O. C. (Marzo de 2015). *SENSORES INDUCTIVOS*. Obtenido de http://www.skillten.com/cursos/sensredcpi/semana2/inductivos_funcionamiento.pdf
- Townsend, K. (2014). *Adafruit Ultimate GPS on the Raspberry Pi*. (Adafruit.com) Recuperado el abril de 2015, de <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-ultimate-gps-on-the-raspberry-pi.pdf>