

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA DEL MONOPLAZA FSO2e PARA EL  
PROYECTO FÓRMULA SENA ECO FORSSA ORIENTE**

**Prototipo para el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Pontificia  
Bolivariana Seccional Bucaramanga**

**CINDY PAOLA QUINTERO DURÁN**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA, SANTANDER  
2016**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA DEL MONOPLAZA FSO<sub>2e</sub> PARA EL  
PROYECTO FÓRMULA SENA ECO FORSSA ORIENTE**

**Prototipo para el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Pontificia  
Bolivariana Seccional Bucaramanga**

**CINDY PAOLA QUINTERO DURÁN**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Director:**

**ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO**

**Magister en Ingeniería – Telecomunicaciones**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA, SANTANDER  
2016**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bucaramanga, Abril 13 de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a los Directivos y Administrativos de la Universidad Pontificia Bolivariana por haberme aceptado ser parte de esta gran universidad.

Debo agradecer de manera especial y sincera a mi director de tesis Alex Alberto Monclou Salcedo por su acompañamiento y apoyo para culminar este proyecto de grado.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Electrónica quienes compartieron sus conocimientos conmigo.

A la escudería FORSSA ORIENTE, liderado por el instructor Luis Orlando Torres Clavijo quienes me permitieron realizar la pasantía en el proyecto Fórmula SENA eco.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de grado se lo dedico a Dios por guiarme en el camino y brindarme los conocimientos para culminar mis estudios.

Para mis padres José Manuel y Maritza, mi hermano Joan Manuel y su esposa Paola Andrea por estar presentes apoyándome y acompañarme en cada paso dado con sus consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles.

A mi sobrina Isabella quien ha sido y es motivación, inspiración y felicidad en mi vida.

A la memoria de mi hermano Sergio Andrés Quintero Durán.

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. MARCO TEÓRICO .....	18
3.1 TELEMETRÍA.....	18
4. SISTEMA TELEMETRÍA FSO2e.....	20
4.1 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA FÓRMULA SENA ECO .....	20
4.2 DESARROLLO DEL PROYECTO FÓRMULA SENA ECO .....	20
4.2.1 Pruebas preliminares. ....	20
4.2.2 Antenas .....	24
4.2.3 KIT VECTRIX .....	25
4.3 CARACTERIZACIÓN MÓDULO TELEMETRÍA FSO2e .....	25
4.3.1 Temperatura.....	25
4.3.2 Baterías .....	26
4.3.3 Velocidad del motor .....	28
4.3.4 Software Proteus 8.....	32
4.3.5 Interfaz gráfica .....	33
5. DESARROLLO DEL PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES.....	34
5.1 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL PROTOTIPO.....	34
5.1.1 Transmisor .....	34
5.1.2 Receptor.....	35
5.2 BATERÍA .....	35
5.2.1 Resistencia de entrada .....	36
5.2.2 Resistencia de Arduino .....	37
5.2.3 Diseño final Batería.....	37
5.2.4 Tabla de caracterización de la Batería .....	37
5.3 TEMPERATURA .....	39
5.3.1 Diseño final temperatura.....	39

5.3.2	Tabla de caracterización de la Temperatura .....	41
5.4	VELOCIDAD .....	42
5.4.1	Dispositivo simulador de la velocidad.....	42
5.4.2	Tabla de caracterización de la velocidad .....	43
5.5	INTEGRACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES.....	44
5.6	PROGRAMACIÓN DE MODEM XBEE Y ARDUINO .....	45
5.6.1	Modem XBee S1 y software X – CTU .....	45
5.6.2	Software X – CTU .....	46
5.6.3	Transmisor Arduino y código Telemetría.....	47
5.6.4	Acople Arduino UNO – XBee Shield – XBee .....	49
5.7	INTERFAZ DE USUARIO .....	49
6.	PRUEBAS FINALES Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	52
7.	CURSO DE CAPACITACIÓN.....	53
8.	CONCLUSIONES .....	54
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de telemetría FSO2e.....	20
Figura 2. Simulador transmisor SENA.....	21
Figura 3. Diagrama esquemático del simulador transmisor SENA.....	21
Figura 4. Simulador receptor SENA .....	22
Figura 5. Diagrama esquemático del simulador receptor SENA .....	22
Figura 6. Arduino UNO empalmado al modem XBee .....	23
Figura 7. Diseño del transmisor y receptor con antenas WLP434 .....	23
Figura 8. Prueba de alcance a 400 metros .....	23
Figura 9. Antena Wire .....	24
Figura 10. Antena WLP 434.....	24
Figura 11. Antena Yagi .....	25
Figura 12. <i>Thermocouple</i> tipo K .....	26
Figura 13. Divisor de tensión Arduino Baterías.....	27
Figura 14. Motor y controlador kit Vectrix.....	29
Figura 15. Arnés Motor y Encoder. [Vectrix] .....	30
Figura 16. Velocidad 100 Km/h .....	31
Figura 17. Velocidad 70 Km/h .....	31
Figura 18. Velocidad 20 Km/h .....	31
Figura 19. Modelo Gerber del sistema de telemetría.....	32
Figura 20. Interfaz gráfica FSO2e .....	33
Figura 21. Simulador sistema transmisor.....	34
Figura 22. Simulador sistema receptor.....	35
Figura 23. Divisor de tensión básico .....	36
Figura 24. Diseño final divisor de tensión .....	37
Figura 25. Ejemplo para 15 voltios de entrada.....	38
Figura 26. Arduino y LM 35.....	40
Figura 27. Monitor serial Arduino.....	40
Figura 28. LM 35 conectado al microcontrolador Arduino .....	42
Figura 29. Generador de funciones.....	43
Figura 30. Diseño final Transmisor del Simulador de Telemetría.....	44
Figura 31. Diagrama esquemático del Transmisor del prototipo .....	45

Figura 32. Modem XBee S1- Vista superior.....	45
Figura 33. Modem XBee S1 – Vista posterior .....	46
Figura 34. Configuración X – CTU.....	47
Figura 35. Diagrama de flujo código Arduino .....	48
Figura 36. Empalme Arduino UNO – XBee Shield – XBee.....	49
Figura 37. Exploradora XBee con XBee S1 .....	49
Figura 38. Interfaz gráfica en LabView.....	50
Figura 39. Diagrama en bloques de la GUI en LabView.....	51

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización temperatura .....	26
Tabla 2. Caracterización tensión en las baterías .....	28
Tabla 3. Caracterización velocidad y período .....	32
Tabla 4. Caracterización de Batería – Arduino .....	38
Tabla 5. Caracterización del sensor de temperatura LM35 .....	41
Tabla 6. Caracterización Velocidad .....	43

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. ANTENA WLP 434

ANEXO B. LM 35

ANEXO C. MANUAL SOFTWARE X – CTU

ANEXO D. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN TELEMETRÍA FINAL

ANEXO E. ARNÉS MOTOR CONTROLADOR VECTRIX

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Caracterización temperatura .....	26
Ecuación 2. Resistencia Arduino .....	27
Ecuación 3. Potencia resistencia Arduino .....	27
Ecuación 4. Resistencia divisor .....	28
Ecuación 5. Potencia resistencia divisor .....	28
Ecuación 6. Fórmula baterías para programar en el microcontrolador .....	28
Ecuación 7. Resistencia de entrada .....	37
Ecuación 8. Resistencia de Arduino .....	37
Ecuación 9. Caracterización batería sin compensación .....	39
Ecuación 10. Caracterización batería final .....	39
Ecuación 11. Caracterización temperatura .....	41
Ecuación 12. Fórmula para la Velocidad en el microcontrolador Arduino .....	43

## GLOSARIO

**ARDUINO:** Microcontrolador de código abierto, con entradas y salidas analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing.

**ENCODER:** Es un codificador rotatorio electromecánico que convierte la posición angular de un eje, directamente a un código digital.

**GUI:** Interfaz gráfica de usuario (*graphical user interface*), es un programa informático que emplea imágenes y objetos gráficos para representar la información.

**LABVIEW:** Software basado en programación gráfica en el que utiliza símbolos gráficos en lugar de lenguaje textual para programar.

**MÓDEM:** Dispositivo que convierte señales digitales en analógicas, o viceversa, para poder ser transmitidas a través de líneas de teléfono, cables coaxiales, fibras ópticas, microondas y radio frecuencia.

**SOFTWARE X – CTU:** Software empleado para la configuración y prueba de los módems XBee.

**XBEE:** Módems que pueden comunicarse entre sí de manera inalámbrica fabricados por Digi International en una gran variedad de combinaciones.

**XBEE – SHIELD:** Circuito empleado para el empalme entre un microcontrolador Arduino y un modem XBee.

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA DEL MONOPLAZA FSO2e PARA EL PROYECTO FÓRMULA SENA ECO FORSSA ORIENTE (Prototipo para el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga).

**AUTOR(ES):** Cindy Paola Quintero Durán

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR(A):** Alex Alberto Monclou Salcedo

### RESUMEN

El crecimiento de la industria automotriz en Colombia ha generado desarrollo tecnológico y económico en el territorio nacional. A su vez se han estudiado diversas competencias automovilísticas desarrolladas en el exterior como son la Fórmula Uno, Fórmula Student y a nivel nacional y local se ha desarrollado la Fórmula SENA. Surge el proyecto Fórmula SENA ECO motivado por impulsar el desarrollo automotriz en el país a través de competencias automovilísticas. Por tal razón ese proyecto tuvo como objetivo la construcción y puesta en marcha de un monoplaza eléctrico, del cual se creó el sistema de telemetría y se participó en una pasantía durante el desarrollo de dicho proyecto. En el proyecto Fórmula SENA eco se monitorearon las variables nivel de carga de las baterías (VDC), las revoluciones por minuto del motor (rpm/Kph) y la temperatura del motor (°C) y el monitoreo de las variables se transmitió mediante radio frecuencia con módems XBee. En este proyecto de grado se desarrolló un prototipo para el laboratorio de comunicaciones de la facultad de Ingeniería Electrónica simulador del sistema transmisor – receptor de dicho proyecto para las mismas variables partiendo de la experiencia adquirida en la pasantía realizada en el SENA y con componentes, materiales y equipos que el laboratorio tiene para uso de los estudiantes en sus prácticas. Al finalizar el proyecto presente se obtuvo el resultado esperado en el diseño del prototipo simulador del sistema de Telemetría con comunicación inalámbrica. El aprendizaje en el uso de nuevas tecnologías contribuye a complementar lo aprendido en el aula y a proyectarlo a casos reales como el que se desarrolló en este proyecto. Como aporte su deja para el laboratorio de comunicaciones el prototipo y su documentación para el uso de los diversos implementos desarrollados en este proyecto de grado.

### **PALABRAS CLAVES:**

Monoplaza, Arduino, Interfaz gráfica de usuario, XBee, Telemetría

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** DESIGN OF TELEMETRY SYSTEM FOR FSO2e CAR FOR FORMULA SENA ECO FORSSA ORIENTE PROJECT (PROTOTYPE FOR TELECOMMUNICATIONS LABORATORY y OF PONTIFICIA BOLIVARIANA UNIVERSITY BUCARAMANGA).

**AUTHOR(S):** Cindy Paola Quintero Durán

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** Alex Alberto Monclou Salcedo

### ABSTRACT

The growth of the automotive industry in Colombia has generated technological and economic development in the country. In turn have studied various automotive skills developed abroad such as Formula One, Formula Student and at national and local level has developed Formula SENA. Surge Formula SENA ECO project motivated to boost auto development in the country through automobile competitions. For this reason this project aimed at the construction and commissioning of an electric car, which the telemetry system was created and participated in an internship during the development of the project. In the Formula SENA eco project variables charge level of the batteries (VDC), revolutions per minute (rpm / Kph) and engine temperature (° C) and monitoring variables is monitored is transmitted via radio XBee modems. Recipient of the project for the same variables based on the experience gained from the internship held at the SENA and components, materials - in this project a prototype for the communications laboratory of the Faculty of Electronic Engineering Simulator transmitter system developed and that the laboratory has equipment for student use in their practices. Upon completion of this project the expected result in the design of the simulator prototype system with wireless communication Telemetry was obtained. Learning in the use of new technologies contributes to complement what they learn in the classroom and to project it to real cases such as that developed in this project. As its contribution left for the communications laboratory prototype and its documentation for the use of the various tools developed in this project grade.

### KEYWORDS:

Telemetry, Wireless, Graphical User Interface, XBee,Arduino

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz en Colombia ha tenido un crecimiento representativo generando desarrollo tecnológico y económico en el territorio nacional. A su vez se han estudiado diversas competencias automovilísticas desarrolladas en el exterior como son la Fórmula Uno, Fórmula Student y a nivel nacional y local se ha desarrollado la Fórmula SENA.

Surge el proyecto Fórmula SENA ECO motivado por impulsar el desarrollo automotriz en el país a través de competencias automovilísticas; utilizando herramientas empleadas en los niveles educativos de ingeniería, tecnología y demás áreas afines que permitan mejorar las habilidades de los estudiantes universitarios y aprendices para desenvolverse en el ámbito laboral.

Por tal razón, el proyecto Fórmula SENA eco tuvo como objetivo la construcción y puesta en marcha de un monoplaza eléctrico, del cual se creó el sistema de telemetría y se participó en una pasantía durante el desarrollo de dicho proyecto. En el proyecto Fórmula SENA eco se monitorearon las siguientes tres variables: el nivel de carga de las baterías (VDC), las revoluciones por minuto del motor (rpm/Kph) y la temperatura del motor (°C) y el monitoreo de las variables se transmitió mediante radio frecuencia.

El proyecto de grado desarrolló un sistema transmisor – receptor para las mismas variables como prototipo para el laboratorio de comunicaciones, partiendo de la experiencia adquirida en la pasantía realizada en el SENA y con componentes, materiales y equipos que el laboratorio tiene para uso de los estudiantes en sus prácticas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar para el laboratorio de comunicaciones un prototipo básico que simule el sistema de telemetría del monoplaza Fórmula SENA ECO regional Santander FSO2e.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conocer el desarrollo del monoplaza Fórmula SENA ECO regional Santander FSO2e para simular el monitoreo de las variables utilizadas en dicho proyecto.
- Diseñar e implementar los módulos de temperatura, nivel de carga de tensión de las baterías y RPM del motor y documentarlos para usarlos en el laboratorio de comunicaciones.
- Obtener el conocimiento necesario para el uso del Arduino, plataforma electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles.
- Obtener el conocimiento necesario para el uso de los módulos XBee, que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos.
- Generar un curso de capacitación que involucra la integración de la plataforma Arduino con los módulos XBee en la implementación del prototipo de telemetría de las tres variables para el laboratorio.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 TELEMETRÍA

La telemetría es un procedimiento para medir magnitudes físicas o químicas de forma remota desde el lugar donde estas se producen hasta un punto de control.

Es utilizada para monitoreo y en ocasiones para el control de grandes sistemas industriales tales como: procesos químicos, fábricas textiles, procesos en la industria del petróleo, monitoreo e instrumentación de naves espaciales y en competencias deportivas para autos, siguiendo el funcionamiento del vehículo para informar tanto al equipo técnico como al piloto el estado de las variables sensadas.<sup>1</sup>

La importancia de la telemetría en competencias deportivas de monoplazas ha llegado al punto en el que los equipos dependen tanto de estos sistemas como de los fabricantes de motores o de neumáticos.

La información adquirida en la telemetría mientras el vehículo está en competencia, permite evaluar el funcionamiento del mismo ante situaciones no controladas, facilitando la creación de bancos de pruebas para simular y desarrollar sistemas acordes a la realidad para determinar fallas y mejorar el rendimiento del vehículo con las correcciones necesarias.<sup>2</sup>

El automovilismo en Colombia ha sufrido cambios importantes desde la participación de Juan Pablo Montoya en la Fórmula 1, evento que disparó el número de aficionados al automovilismo y pilotos en las competencias que se efectúan en el país. La tecnología utilizada en el automovilismo colombiano es limitada porque las herramientas son costosas o difíciles de conseguir en el país. Por ello se ha visto la necesidad de investigar y desarrollar instrumentos con tecnología que se encuentre en el país y que faciliten el monitoreo en tiempo real de los datos tal que garanticen dar soporte en la toma de decisiones.

El sistema de telemetría de la escudería FORSSA ORIENTE del proyecto Fórmula SENA ECO, se centró en la construcción de un monoplaza eléctrico a partir de un kit proporcionado por el SENA en conjunto con la empresa VECTRIX, compuesto por: un tablero de visualización, un acelerador manual, dos motores eléctricos, dos controladores, dos ICM (*Interfaz control motor*), dos cargadores de baterías y dos paquetes de baterías. Cada componente se comunica mediante una red CAN (*Controller Area Network*) con los otros dispositivos.

En el proyecto Fórmula SENA eco FORSSA Oriente se monitorearon las siguientes variables:

- Revoluciones por minuto del monoplaza FSO2e.
- Temperatura de los motores.
- Carga de las baterías.

Dicho monitoreo permitió la transmisión de datos del monoplaza FSO2e, en tiempo real y de forma remota, basado en la comunicación entre módulos XBee de radio frecuencia a 2.4GHz y utilizando el estándar IEEE 802.15.4 para redes de área personal (WPAN).

Durante la pasantía se programaron tres microcontroladores Arduino, uno de ellos ubicado en el monoplaza, el segundo en un punto repetidor con la antena Yagi y el tercero en el punto de control (*píts*) comunicados con Radio Frecuencia Serial empleando módems XBee. Además una interfaz gráfica para almacenamiento de datos y su correspondiente visualización en tiempo real, la cual se empleó de acuerdo a las necesidades y solicitudes del sistema durante su proceso (dicha interfaz fue elaborada por aprendices de la regional Cúcuta).

El presente trabajo de grado desarrolló un prototipo básico con la tecnología Arduino y modem XBee, el cual partió de la experiencia adquirida en la pasantía del proyecto Fórmula SENA eco y se adaptó al laboratorio de comunicaciones simulando las mismas variables (Velocidad, Temperatura y Carga de la batería).

## 4. SISTEMA TELEMETRÍA FSO2E

### 4.1 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA FÓRMULA SENA ECO

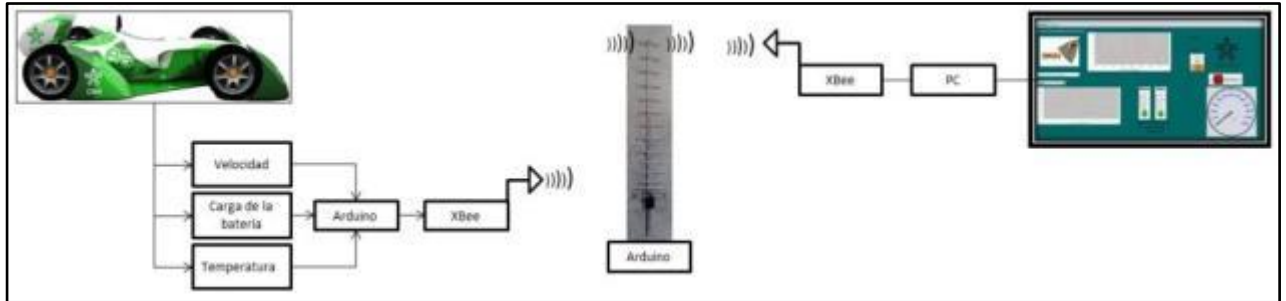


Figura 1. Sistema de telemetría FSO2e

En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques del diseño del sistema de telemetría del FSO2e elaborado en la pasantía del Proyecto Fórmula SENA eco.

### 4.2 DESARROLLO DEL PROYECTO FÓRMULA SENA ECO

#### 4.2.1 Pruebas preliminares.

Al comienzo no se tenía disponible el motor y era necesario iniciar las pruebas de alcance máximo del sistema con 3 puntos de comunicación y simulando las variables a sensor.

En las figuras 2 y 3 se muestra el montaje en protoboard y el diagrama esquemático del transmisor respectivamente y en las figuras 4 y 5 se muestra el montaje en protoboard y el diagrama esquemático del receptor respectivamente, con los siguientes componentes:

- 2 Potenciómetros simuladores de variables
- 2 Potenciómetros de ajuste de contraste de las pantallas LCD
- 2 Arduino UNO
- 2 Pantallas LCD
- 2 XBee shield
- 2 Modem XBee PRO S2 de antena Wire

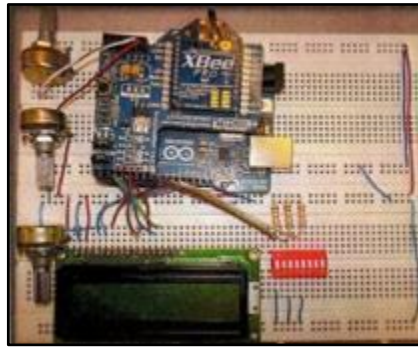


Figura 2. Simulador transmisor SENA

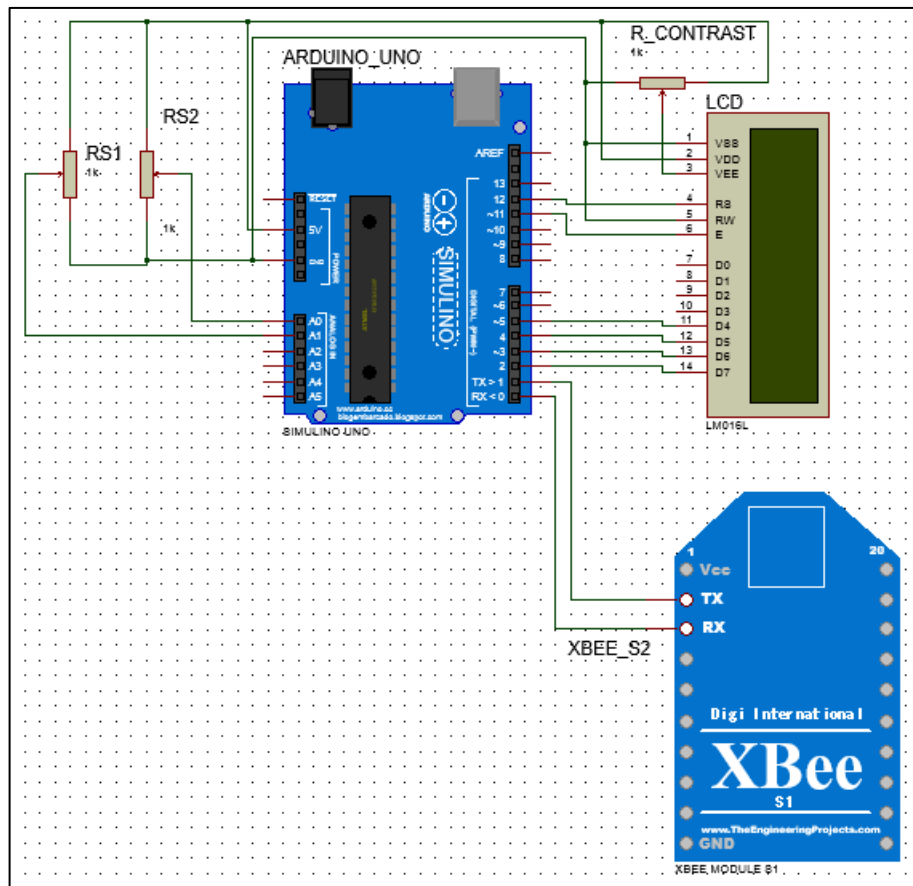


Figura 3. Diagrama esquemático del simulador transmisor SENA

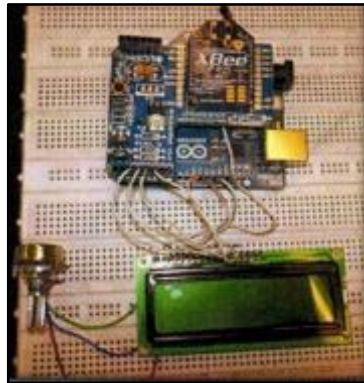


Figura 4. Simulador receptor SENA

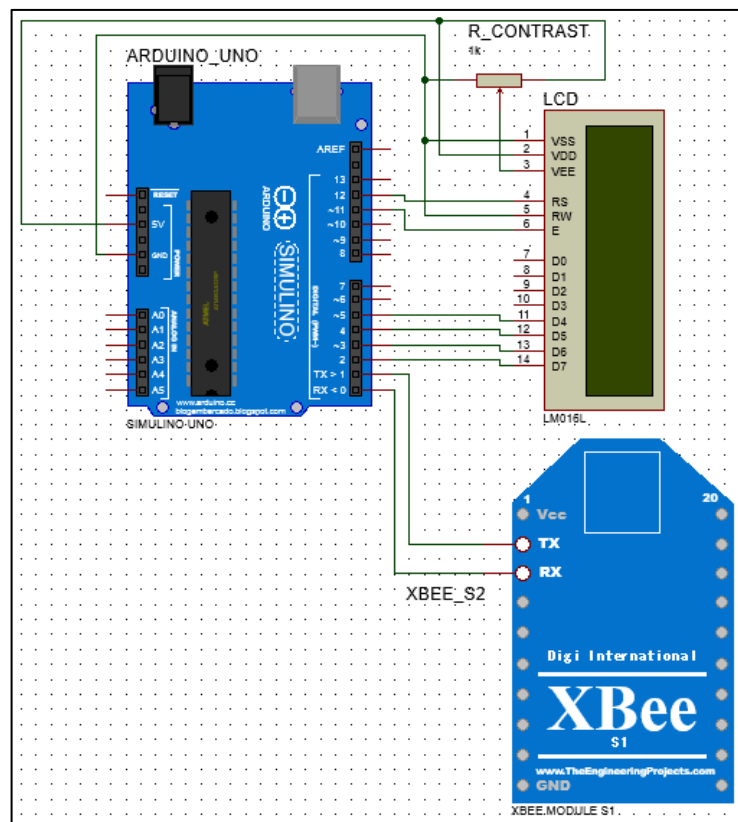


Figura 5. Diagrama esquemático del simulador receptor SENA

Es necesario añadir que para la conexión entre el microcontrolador Arduino UNO y el modem XBee se emplea la XBee Shield. Su conexión se realiza como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Arduino UNO empalmado al modem XBee

Las antenas tipo Wire de los modem XBee no fueron adecuadas para la pista cuya máxima distancia es de 400 metros por lo tanto se cambiaron por antenas WLP 434 y se adecuaron los conectores RPSMA (*Reverse Polarity Subminiature Version A - Polaridad inversa Sub Miniatura versión A*) de los modem XBee como se muestra en la figura 7 y se hicieron pruebas de alcance como se muestra en la figura 8.

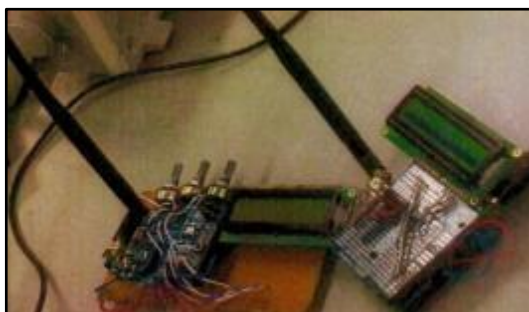


Figura 7. Diseño del transmisor y receptor con antenas WLP434



Figura 8. Prueba de alcance a 400 metros

## 4.2.2 Antenas

### Antena Wire



Figura 9. Antena Wire

Las antenas de hilo conocidas como “*wire*” como la de la figura 9, son antenas de HF económicas y sencillas de construir. Tan sólo se requiere un hilo conductor, de longitud  $L$ , dispuesto en forma rectilínea y conectado a la radio en uno de sus extremos y con el otro extremo en circuito abierto.<sup>3</sup>

### Antena WLP434

Para el monoplaza y la antena de recepción en el punto de *pits* se seleccionaron 2 antenas WLP434 como la de la figura 10. Se tomó en cuenta la frecuencia de trabajo y los terminales conectores de la antena a la entrada de las XBee.



Figura 10. Antena WLP 434

### Características

- Omnidireccional
- Frecuencia de transmisión 434 MHz
- Temperatura de operación entre -30°C hasta 80°C

## Antena Yagi

Esta se instaló a un microcontrolador Arduino como punto repetidor de la señal. Las variables se enviaban desde el monoplaza a este nodo y de aquí al punto de *pits*. En la figura 11 se muestra la Antena Yagi con la que disponía el centro SENA CIMI (Centro Industrial de Mantenimiento Integral) – Girón.



Figura 11. Antena Yagi

### Características

- Antena constituida por varios elementos paralelos y coplanarios, directores, activos y reflectores.<sup>3</sup>

#### 4.2.3 KIT VECTRIX

Con la llegada del motor de la empresa Vectrix se inició la construcción del sistema de telemetría. Este kit estaba diseñado para 2 motos eléctricas y constaba de:

- 2 Motores Brushless trifásicos, potencia máxima continua: 5,1 Hp (3,8 KW) y torque máximo continuo: 23 Nm
- 2 Controladores diseñados especialmente para los motores
- 2 ICM (*Interface Control Moduler*)
- 2 Packs de baterías LiFePO4, 128 Voltios, 42 Ah
- 2 Cargadores de baterías 110 – 220 Voltios
- Arnés eléctrico para cada motor (Cables)
- 1 Acelerador con sensor magnético (que debía conectarse a ambos paquetes)
- Tablero indicador

Fue necesario hacer un rediseño para el emparejamiento entre los dos *kits* y armarlo para un vehículo monoplaza. La telemetría se centró en los controladores de los motores y las baterías.

## 4.3 CARACTERIZACIÓN MÓDULO TELEMETRÍA FSO2e

### 4.3.1 Temperatura

En la figura 12 se muestra la *thermocouple*, la cual es el sensor de temperatura utilizado industrialmente. Está fabricado con dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura.<sup>4</sup>

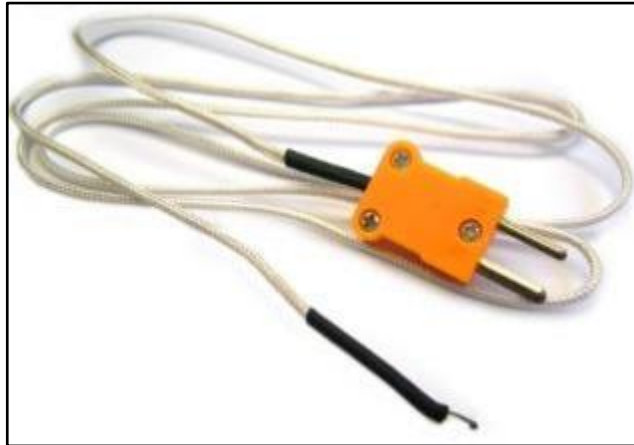


Figura 12. *Thermocouple* tipo K

Después de algunas pruebas en el laboratorio del SENA CIMI (Centro Industrial de Mantenimiento Integral) – GIRÓN se logró caracterizar la temperatura y los datos recibidos se registraron en la tabla 1:

<b>Temperatura (°C)</b>	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<b>Valor análogo</b>	53	106	159	212	265	318	371	424	477	530

Tabla 1. Caracterización temperatura

Se realizó la ecuación 1 que permitió interpretar los grados Celsius a valores análogos

$$Temperatura = \frac{Valor\ análogo * 0,065}{0,345}$$

Ecuación 1. Caracterización temperatura

#### 4.3.2 Baterías

Para las baterías de LiFePO<sub>4</sub> de 42 Ah y voltaje de 128 Voltios se construyó un voltímetro.

Tanto el amperaje como la tensión de las baterías eran demasiado altas para conectarse al microcontrolador Arduino, ante esto se realizó un circuito divisor de tensión como el de la figura 13.

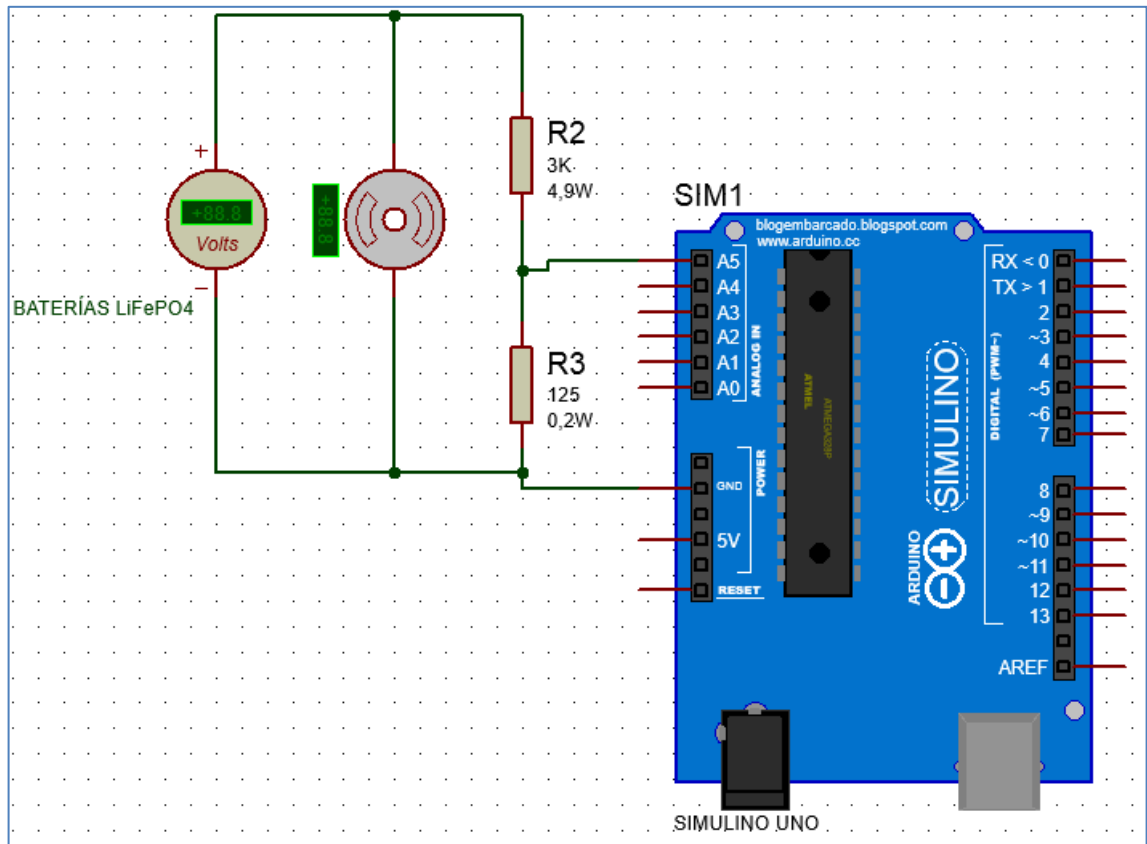


Figura 13. Divisor de tensión Arduino Baterías

Para conocer los valores de las resistencias se realizaron los cálculos mediante las ecuaciones 2, 3, 4 y 5.

$$V_{ARDUINO} = 5V$$

$$I_{MÁX} = 40mA$$

$$R_{ARDUINO} = \frac{V_{ARDUINO}}{I_{MÁX}} = \frac{5V}{40mA} = 125\Omega$$

Ecuación 2. Resistencia Arduino

$$Potencia - R_{ARDUINO} = 5V * 40mA = 0,2W$$

Ecuación 3. Potencia resistencia Arduino

$$V_{DIVISOR} = 123V$$

$$I_{MÁX} = 40mA$$

$$R_{DIVISOR} = \frac{V_{DIVISOR}}{I_{MÁX}} = \frac{123V}{40mA} = 3K\Omega$$

Ecuación 4. Resistencia divisor

$$Potencia - R_{ARDUINO} = 123V * 40mA = 4,9W$$

Ecuación 5. Potencia resistencia divisor

Con el diseño se inicia la caracterización de la carga de las baterías para conectarse al microcontrolador Arduino, datos que se registran en la Tabla 2.

Tensión (V)	10	40	70	100	130
Valor análogo	9	37	64	91	100

Tabla 2. Caracterización tensión en las baterías

Con los anteriores datos se desarrolló la ecuación 6, fórmula que se programa en el código del microcontrolador

$$Voltaje baterías = \frac{valor\ análogo * 0,145}{0,152}$$

Ecuación 6. Fórmula baterías para programar en el microcontrolador

Se comprobó su adecuado funcionamiento realizando diversas pruebas dentro del centro CIMI – Girón.

#### 4.3.3 Velocidad del motor

En la figura 14 se puede observar el arnés que comunica al motor y controlador de la empresa Vectrix.

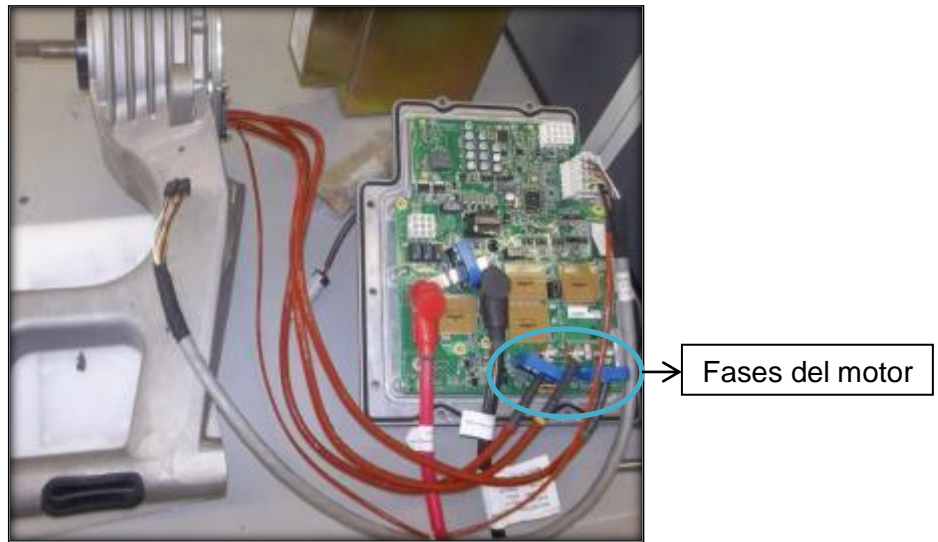


Figura 14. Motor y controlador kit Vectrix

Con las hojas de datos que suministró la empresa (ANEXO E) se encontró que el controlador del motor constaba de un encoder y que en el diseño del arnés tenía sensores de efecto Hall para cada fase del motor que se podían utilizar en la caracterización de la velocidad podemos ver la disposición de los sensores a cada fase del motor. Con este conocimiento se iniciaron las pruebas para observar el comportamiento de la señal de uno de los sensores de efecto Hall de las fases ante los cambios de velocidades.

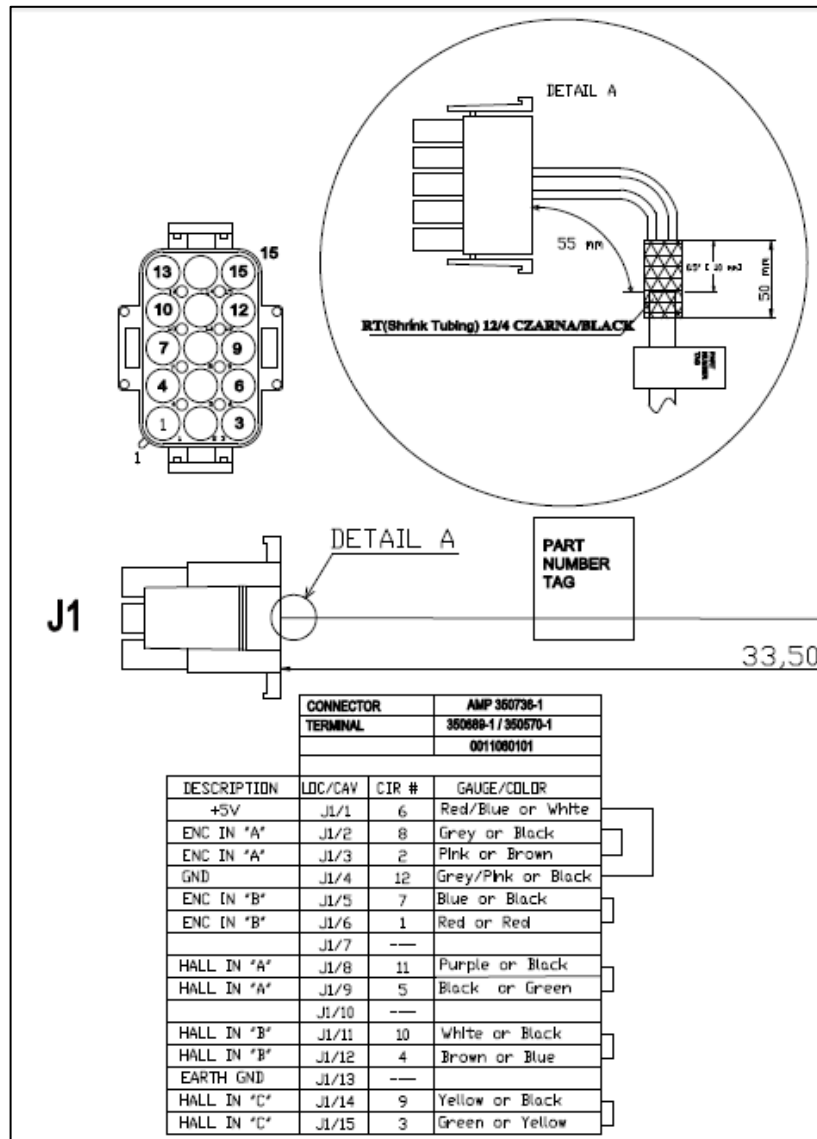


Figura 15. Arnés Motor y Encoder. [Vectrix]

Las figuras 16, 17 y 18 captadas en el osciloscopio muestran las pruebas realizadas en el sensor en la fase A, a diferentes velocidades.

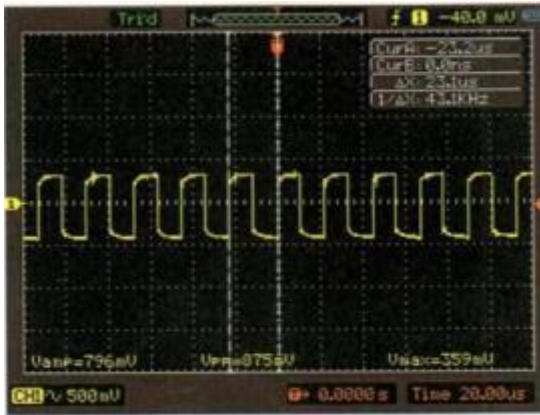


Figura 16. Velocidad 100 Km/h

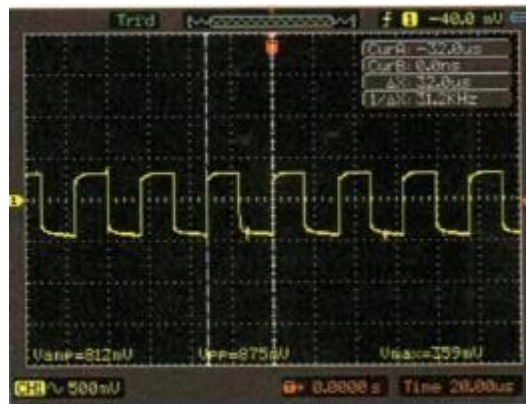


Figura 17. Velocidad 70 Km/h

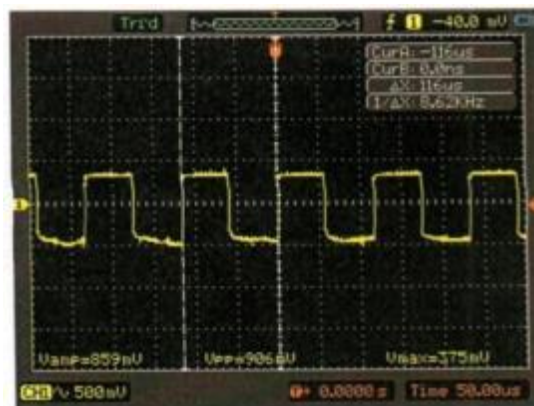


Figura 18. Velocidad 20 Km/h

La tabla 3 muestra los resultados con los cuales se realizó la curva característica entre la velocidad y el período.

Velocidad (Km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Periodo ( $\mu$ S)	236	116	73,6	57,6	44	37,6	32	28	24,7	23,1	20,7

Tabla 3. Caracterización velocidad y período

Cabe resaltar que cada fase se analizó y se observó el mismo comportamiento entre ellas.

#### 4.3.4 Software Proteus 8

Mediante este software se realizaron los diseños de las tarjetas electrónicas correspondientes a la telemetría.

Proteus es un entorno integrado diseñado para la realización completa de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño, simulación, depuración y construcción.

En la figura 19 se visualiza el diseño del sistema de telemetría, diseño que pasó a etapa de prototipado para su última construcción. En este se empleó:

- Amplificador operacional LM358 (U1) para realizar la instrumentación de la *thermocouple*.
- Divisor de tensión de la Batería (RV2 y la resistencia de potencia ubicada entre A1 y A2).
- Moles para la conexión de la *thermocouple*, la velocidad y la batería del motor.
- Mol para la batería externa de 11 voltios para la alimentación del amplificador operacional.

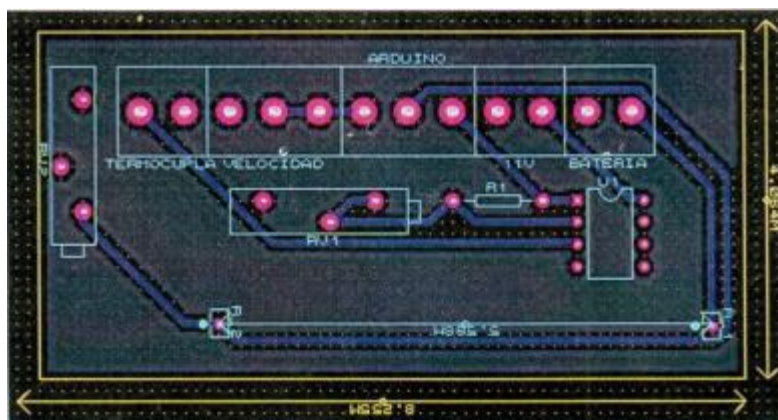


Figura 19. Modelo Gerber del sistema de telemetría

### 4.3.5 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica estuvo a cargo de aprendices de la regional de Cúcuta, quienes realizaron el diseño en lenguaje JAVA y la figura 20 representa lo que el usuario observaba en tiempo real.

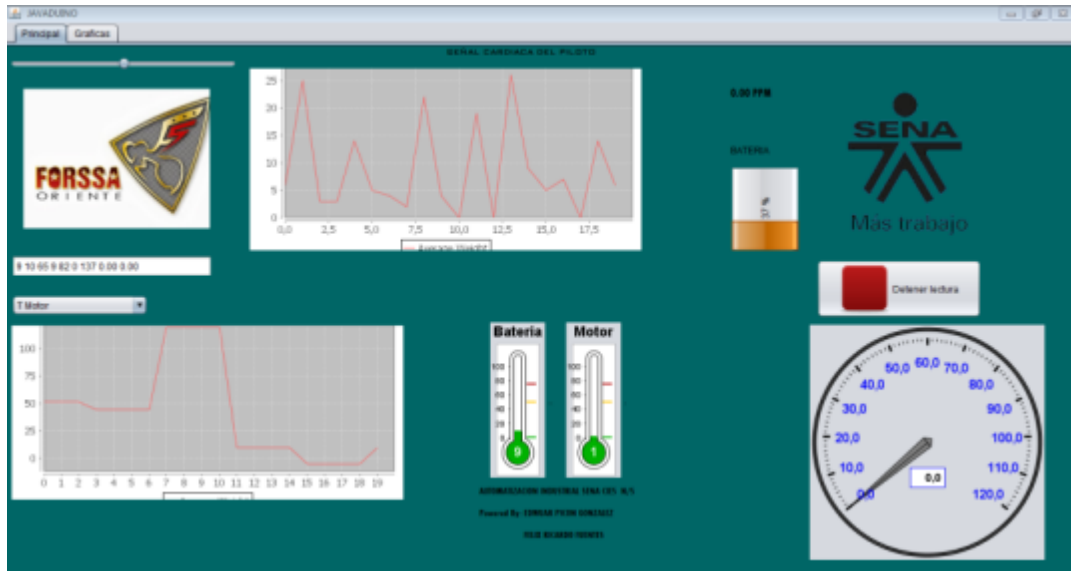


Figura 20. Interfaz gráfica FSO2e

En esta interfaz se presentaba:

- Tacómetro indicador de la velocidad del monoplaza FSO2e.
- Termómetro indicador de la temperatura de la batería y del motor.
- La gráfica de la señal cardiaca del piloto.
- La gráfica de la velocidad del monoplaza FSO2e.

## 5. DESARROLLO DEL PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES

### 5.1 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL PROTOTIPO

Con la experiencia adquirida en la pasantía en la que se trataron los tópicos de transmisión de las señales, repetición y recepción de las mismas, se planteó desarrollar el proyecto de grado implementando las mismas variables en un prototipo para uso del laboratorio de Telecomunicaciones de la facultad Ingeniería Electrónica.

#### 5.1.1 Transmisor

La figura 21 muestra el diagrama en bloque del prototipo transmisor.

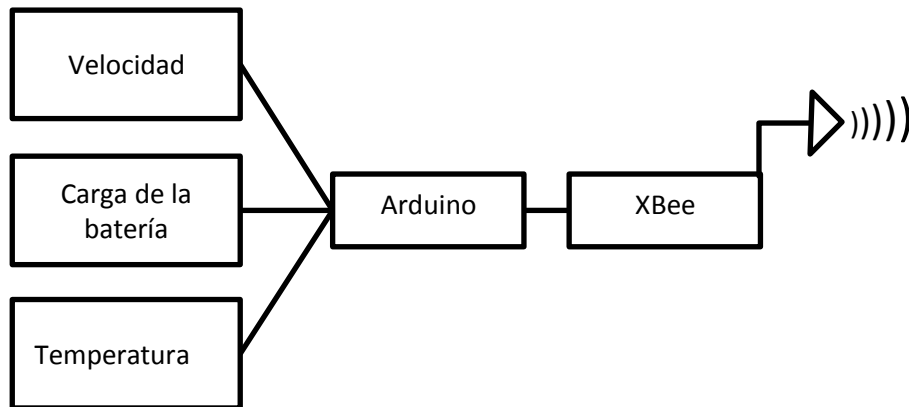


Figura 21. Simulador sistema transmisor

#### VELOCIDAD

Este bloque se simuló con un generador de funciones que entregó una señal cuadrada de 5 voltios pico, con rango de frecuencia desde 1 KHz hasta 20 KHz.

#### BATERÍA

Este bloque se simuló con una fuente variable DC, con rango de 0 V hasta 30 V.

#### TEMPERATURA

Este módulo se simuló con el sensor de temperatura LM35, con temperatura variable desde aproximadamente 26 °C (Temperatura ambiente) hasta 150 °C.

## ARDUINO

En el microcontrolador Arduino UNO se emplearon entradas analógicas para la Batería y la Temperatura y para la velocidad una entrada digital. Dado que las entradas de Arduino son hasta 5 voltios, las señales simuladas para los bloques: Velocidad, Batería y Temperatura, se adaptaron para ser leídas por dicho dispositivo.

### XBee Coordinador

Modem que toma las señales leídas por el Arduino y las transmitió de manera Serial al receptor.

#### 5.1.2 Receptor

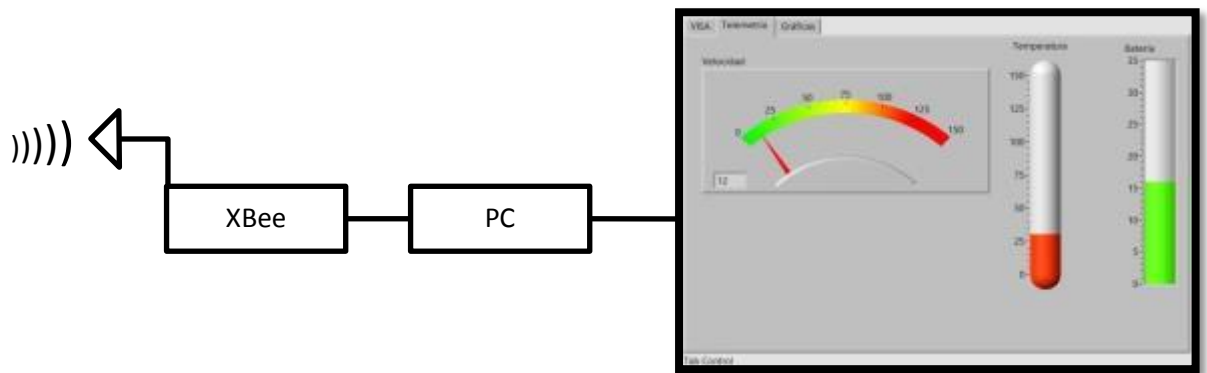


Figura 22. Simulador sistema receptor

La figura 22 muestra el diagrama en bloques del sistema receptor elaborado y consta de: Xbee End Device, PC y una GUI.

### XBee End Device

Modem que toma las señales transmitidas desde el XBee transmisor y las procesa mediante el programa X-CTU propio del sistema XBee Digi.

### PC

Toma la señal mediante el puerto USB directamente desde el XBee y se visualiza en el GUI de LabView.

Para el desarrollo del prototipo se utilizaron los equipos con los que cuenta la facultad, los cuales se describen a continuación:

## 5.2 BATERÍA

Comercialmente para los carros eléctricos se utilizan baterías recargables de LiFePO4 (Fosfato de hierro de litio) de 128 voltios DC – 42 Amperios hora. Para el diseño del laboratorio se tomó la fuente Protek Triple DC Power Supply 3033B con características de voltaje de salida de 0 V a 30 V – 1 A a 5 A, valores que se adaptaron a lo desarrollado para el laboratorio.

Según la hoja de datos del Arduino el valor máximo de corriente recomendada para este dispositivo es de 40 mA y 5 V, por lo tanto se diseña el divisor de tensión de la figura 23.

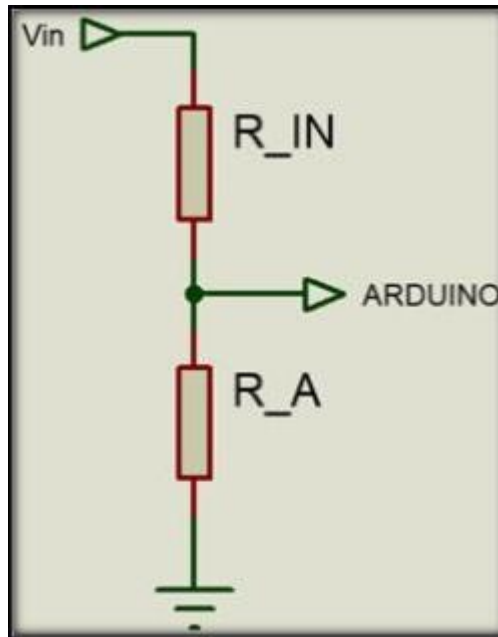


Figura 23. Divisor de tensión básico

Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- $V_{\text{Entregado\_por\_la\_fuente\_Máximo}} = 30 \text{ V}$
- $V_{\text{Arduino}} = 5 \text{ V}$
- $V_R = 25 \text{ V}$
- $I_{\text{Máx}} = 40 \text{ mA}$

### 5.2.1 Resistencia de entrada

$$R_{IN} = \frac{V_{IN} - V_{R\_Arduino}}{I_{Máx}}$$

$$R_{IN} = \frac{30V - 5V}{40mA}$$

$$R_{IN} = \frac{25V}{40mA}$$

$$R_{IN} = 625\Omega$$

Ecuación 7. Resistencia de entrada

### 5.2.2 Resistencia de Arduino

$$R_{\text{Arduino}} = \frac{V_{R_{\text{Arduino}}}}{I_{\text{Máx}}}$$

$$R_{\text{Arduino}} = \frac{5V}{40\text{mA}}$$

$$R_{\text{Arduino}} = 125\Omega$$

Ecuación 8. Resistencia de Arduino

### 5.2.3 Diseño final Batería

Las ecuaciones 7 y 8 se utilizan para los valores de las resistencias de la figura 24.

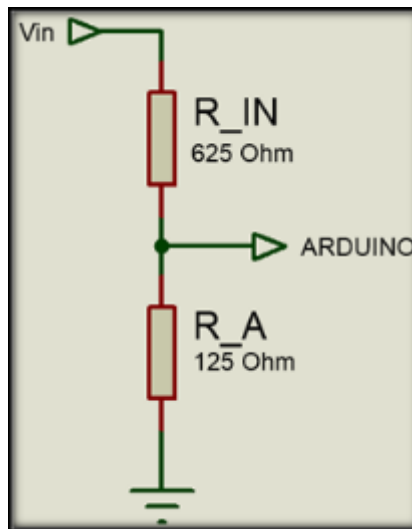


Figura 24. Diseño final divisor de tensión

### 5.2.4 Tabla de caracterización de la Batería

En la figura 25 se muestra la tensión y corriente de salida para un voltaje de entrada de 15 Voltios. Así se hicieron medidas con diferentes valores en el laboratorio para el montaje del prototipo consignados en la Tabla 4.



Figura 25. Ejemplo para 15 voltios de entrada

Tensión de Entrada (V)	Tensión de Salida (V)	Corriente de Salida (mA)	Valor Análogo
0	0	0	0
3	0,51	4,2	100
6	1,03	8,1	205
9	1,53	12,1	310
12	2,05	16,1	414
15	2,57	20,1	517
18	3,07	24,1	619
21	3,58	28,2	722
24	4,1	32,1	826
27	4,61	36,2	932
30	5,12	40	1023

Tabla 4. Caracterización de Batería – Arduino

Con los datos obtenidos en la tabla 4 se realizó la ecuación 9, la cual se añadió al código de programación del Arduino para la telemetría del sistema.

$$\text{Constante} = \frac{\text{Voltaje máximo de entrada}}{\text{Valor Análogo Máximo}}$$

$$\text{Constante} = \frac{30}{1023} = 0.0293255131965$$

Con este dato se realiza el código en el microcontrolador Arduino y se obtiene la ecuación 9 donde “a” corresponde al valor análogo leído en el pin de entrada A3.

Ante las pruebas realizadas con dicha ecuación se evidencia un voltaje 0,15 Voltios superior al medido, por lo tanto se realiza una compensación de la ecuación 9 la cual resulta adecuada para la caracterización y la ecuación 10 es la que queda finalmente en el código de la Telemetría.

$$\text{bat} = a * 0.0293255131965$$

Ecuación 9. Caracterización batería sin compensación

$$\text{bat} = a * 0.0293255131965 - 0.15$$

Ecuación 10. Caracterización batería final

### 5.3 TEMPERATURA

Usualmente en los motores se utiliza el *thermocouple* tipo K para sensar la temperatura. En el diseño se utilizó el circuito integrado LM35, cuyo voltaje de salida es linealmente proporcional a la temperatura en grados Celsius y para desarrollos académicos no requiere ajustes finos en el rango de los  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta  $150^{\circ}\text{C}$  según la tabla de datos que entrega National Semiconductor (ANEXO B).

Datos del sensor de temperatura LM35

- Factor de escala:  $1^{\circ}\text{C}$  equivale a 10mV
- Rango:  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta  $150^{\circ}\text{C}$

Para el prototipo del laboratorio el LM35 se conectó directamente a una entrada análoga del Arduino. El máximo valor de voltaje que entrega el LM35 es 5 V, valor que se ajusta al máximo de entrada permitido por el Arduino.

#### 5.3.1 Diseño final temperatura

Se realizó la conexión de la figura 26 para el LM 35 como sensor de temperatura y el microcontrolador Arduino, además se agregó un filtro pasa bajas para estabilizar la salida del sensor recomendado por el fabricante.



Durante las pruebas se observó que el valor análogo era el doble de la temperatura, este valor se emplea en la programación para que se visualice la temperatura en °Celsius en la interfaz gráfica del usuario.

### 5.3.2 Tabla de caracterización de la Temperatura

Temperatura (°C)	Tensión de salida (V)	Valor análogo
26	0,25	52
30	0,29	60
40	0,39	80
50	0,49	100
60	0,59	120
70	0,69	140
80	0,78	160
90	0,88	180
100	0,98	200
120	1,17	240
150	1,47	300

Tabla 5. Caracterización del sensor de temperatura LM35

Con el valor obtenido se realiza la ecuación 11 la cual se añade al código de Telemetría programado en el Arduino como caracterización de la batería.

$$Temperatura = \frac{Valor\ Análogo}{2}$$

Ecuación 11. Caracterización temperatura

En la figura 28 se observa una de las capturas del monitor serial del Arduino mientras se sometía a las pruebas realizadas para comprobar el adecuado funcionamiento.

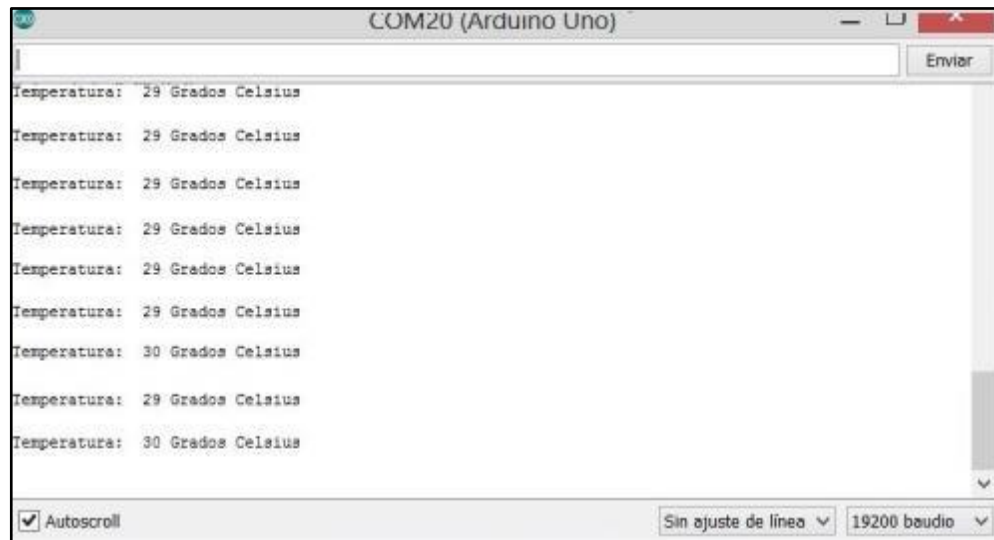


Figura 28. LM 35 conectado al microcontrolador Arduino

## 5.4 VELOCIDAD

### 5.4.1 Dispositivo simulador de la velocidad

En el proyecto Fórmula SENA eco se sensó la velocidad con el Encoder AS5040, el cual es un codificador magnético rotatorio sin contacto que entrega pulsos.

Para el prototipo del laboratorio se utilizó el generador de funciones RIGOL DG1022 para simular la variación de la velocidad. De este generador se tomaron pulsos de amplitud 5 V pico y frecuencias desde 1 KHz hasta 20 KHz, señal que se asemeja a la que entregaba el encoder.

Características de onda del generador RIGOL DG1022 (Figura 29)

- Onda cuadrada
- 5 voltios pico
- Duty cycle 50%
- Offset 0V
- Fase 0°
- Frecuencia: 1 KHz – 20 KHz



Figura 29. Generador de funciones

#### 5.4.2 Tabla de caracterización de la velocidad

De manera práctica con el generador se realizaron pruebas empleando la función de interrupción del Arduino y con ello se generó la Tabla 6.

FRECUENCIA (KHz)	RPM	VELOCIDAD
0	0	0
2	468,98	15
4	937,96	30
6	1324,68	45
8	1876,18	60
10	2345,16	75
12	2814,14	90
14	3283,12	105
16	3752,1	120
18	4221,1	135
20	4693,12	150

Tabla 6. Caracterización Velocidad

Con los datos consignados en la tabla 6 se realiza la ecuación 12 para anexarla en el código de programación de la telemetría.

$$km = 0,032 * rpm$$

Ecuación 12. Fórmula para la Velocidad en el microcontrolador Arduino

## 5.5 INTEGRACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES

En la figura 30 se muestra el diseño final del transmisor del prototipo en donde se unió la polaridad negativa de cada variable sensada a la misma polaridad negativa del Arduino y se conectaron las variables con su respectiva instrumentación al microcontrolador Arduino como entradas. La figura 31 muestra el diagrama esquemático del diseño del transmisor del prototipo.

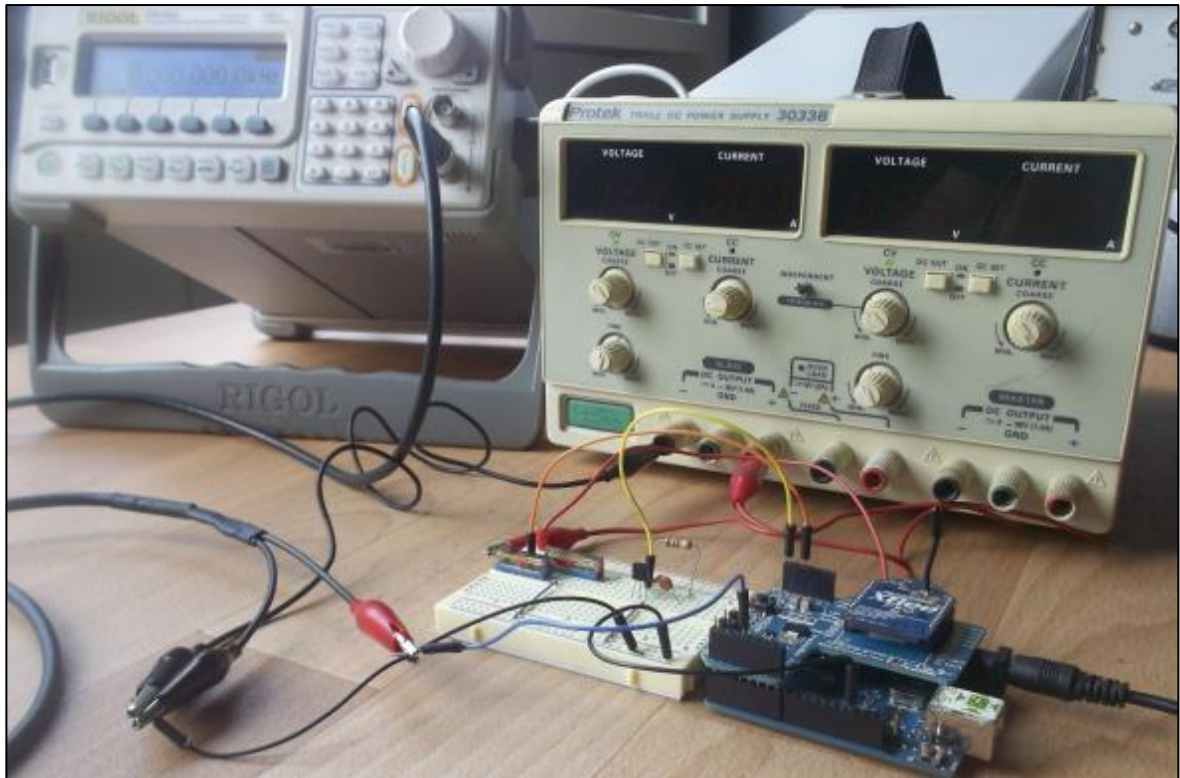


Figura 30. Diseño final Transmisor del Simulador de Telemetría

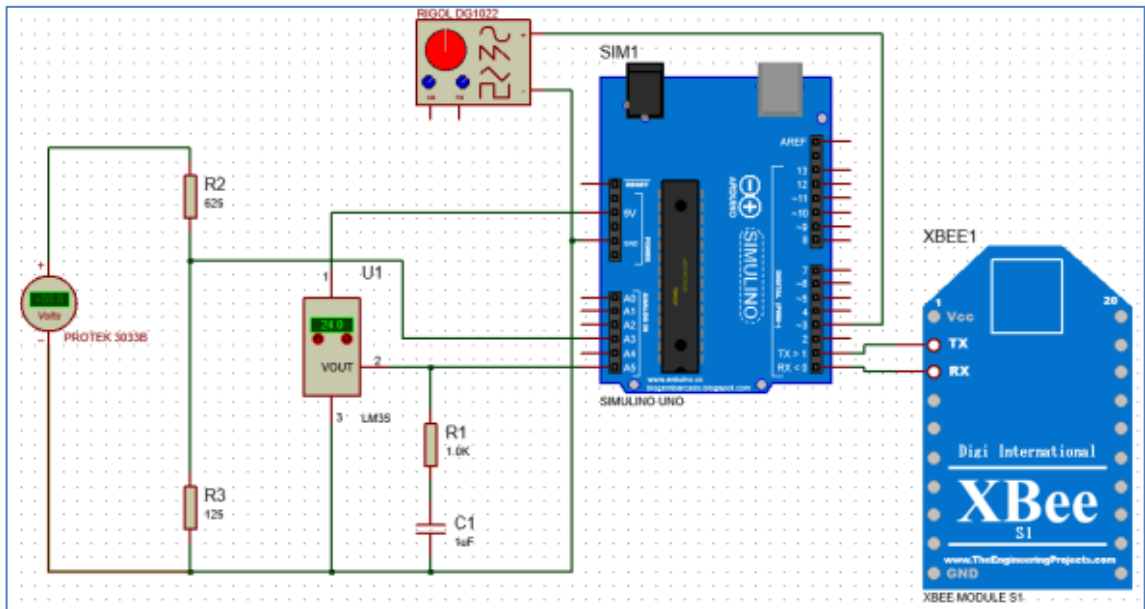


Figura 31. Diagrama esquemático del Transmisor del prototipo

## 5.6 PROGRAMACIÓN DE MODEM XBEE Y ARDUINO

Para la conexión entre el microcontrolador Arduino y los modem RF se emplearon:

- 2 módems XBee S1
- 1 XBee shield
- 1 Exploradora XBee USB
- 1 Arduino con su respectivo cable
- Alimentador para Arduino 9 Voltios – 1 Amperio

### 5.6.1 Modem XBee S1 y software X – CTU

Se utilizaron los modem XBee S1 por ser muy prácticos para proyectos de corto alcance, en este caso se eligió uno para transmisor y otro para receptor. (Figura 32 y 33)



Figura 32. Modem XBee S1- Vista superior



Figura 33. Modem XBee S1 – Vista posterior

### 5.6.2 Software X – CTU

Los modem XBee se configuran desde el programa X – CTU (Figura 34) en donde se especifica:

- La red de comunicación que para el presente proyecto fue 3332
- La velocidad de comunicación se configuró a 19200 baudios.
- Código serial único de cada XBee para privacidad en la comunicación, se encuentra en la vista posterior del modem.
  - ✓ El del transmisor es: 13A200 40B0ACA9
  - ✓ El del receptor es: 13A200 40ACE1CF
- Jerarquización entre los dispositivos. Esta permite designar al coordinador y al END DEVICE del sistema de comunicación.
  - ✓ Para el transmisor es Coordinador
  - ✓ Para el receptor es END DEVICE

En la figura 34 se ve la configuración con la que viene por defecto el modem y cada uno de estos corresponde a:

- CHANNEL: Indica el canal por el cuál se conectan los módems
- PAN ID: Indica el número de la RED en la cual se comunican los módems y debe ser el mismo para los módems que se encuentran en dicha red.
- DESTINATION ADDRESS HIGH: Son 5 caracteres alfanuméricos que indican la dirección serial superior del modem con el que se va a comunicar. Normalmente el modem trae dos dígitos iniciales “00” pero estos se omiten.
- DESTINATION ADDRESS LOW: Son 8 caracteres alfanuméricos que indican la dirección serial inferior del modem con el que se va a comunicar.
- 16 BIT SOURCE ADDRESS: Dirección para cada XBee en su red. Estos valores deben ser únicos para cada XBee en una red. La dirección de MI puede ser cualquier valor entre 0x0000 y 0xFFFF. Aunque si se desea que dos XBee reciban los mismos datos se digita la misma dirección de MY.

- SERIAL NUMBER HIGH y SERIAL NUMBER LOW no son editables, estos identifican el modem que se encuentra conectado.
- COORDINATOR ENABLE: Permite modificar si el modem es COORDINATOR o END DEVICE
- INTERFACE DATA RATE: En esta opción se modifica la velocidad de transmisión de datos, estos valores pueden ser: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 o 115200

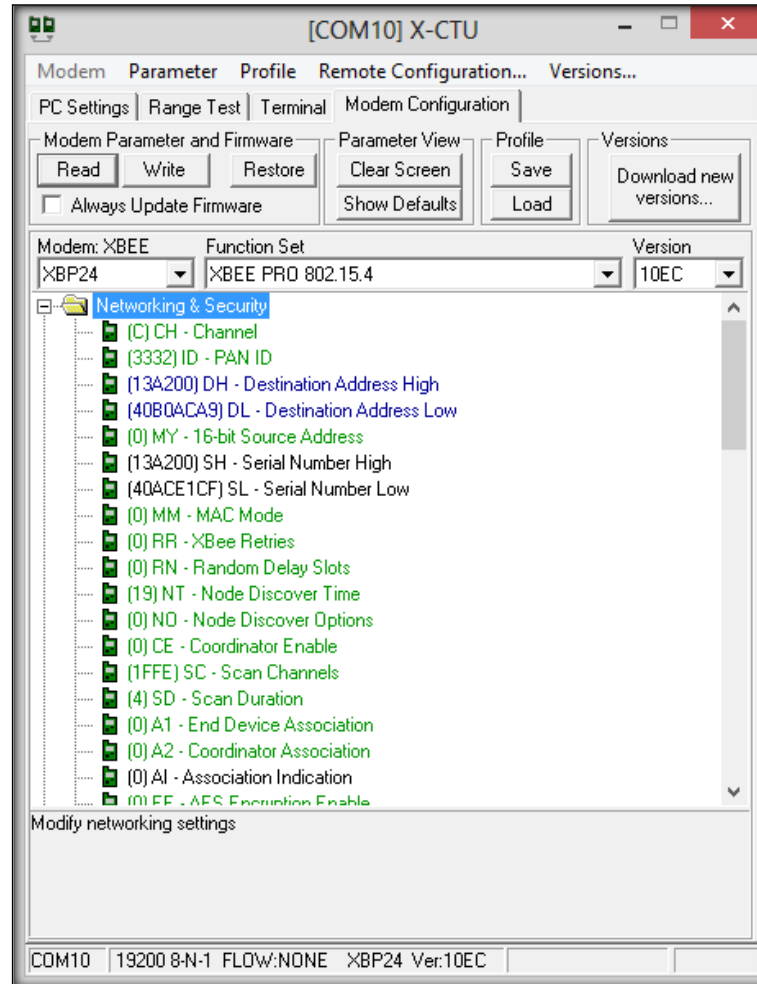


Figura 34. Configuración X – CTU

### 5.6.3 Transmisor Arduino y código Telemetría

Se realizó el código de programación del sistema en el software Arduino y se programó en el Arduino transmisor. (ANEXO D – CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO) para adaptarlo al receptor del prototipo que se comunica con la interfaz de usuario elaborada en el software LabView. En la figura 35 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al proceso.

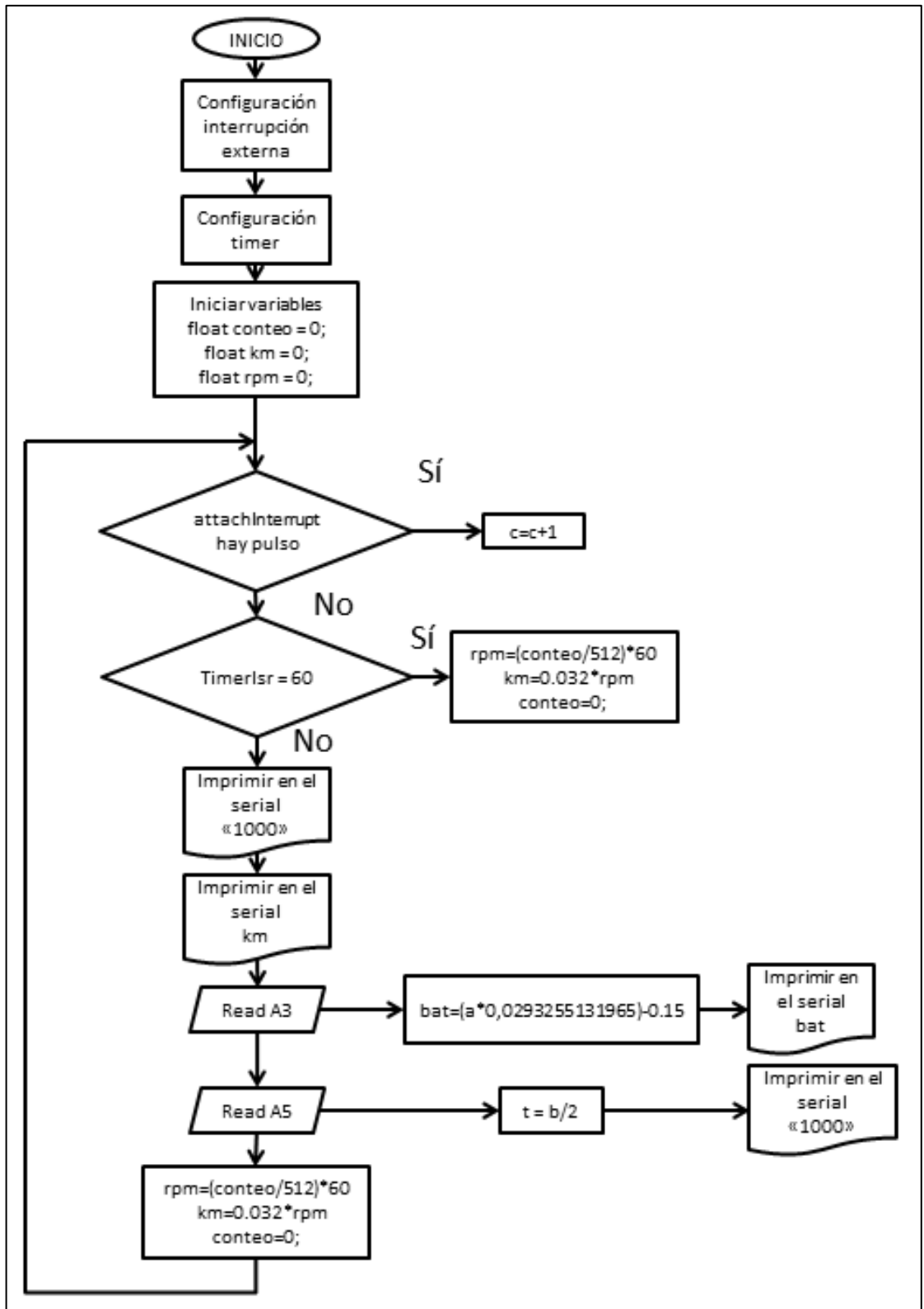


Figura 35. Diagrama de flujo código Arduino

#### 5.6.4 Acople Arduino UNO – XBee Shield – XBee

##### Transmisor

Para el transmisor se utilizó la XBee Shield que permite acoplar el módem XBee y el microcontrolador Arduino. (Figura 36)



Figura 36. Empalme Arduino UNO – XBee Shield – XBee

##### Receptor

En la figura 37 se muestra el receptor en donde se empleó un XBee S1 con la exploradora XBee USB y este se recibió mediante código serial en la interfaz de usuario de LabView.



Figura 37. Exploradora XBee con XBee S1

### 5.7 INTERFAZ DE USUARIO

El receptor se conecta al computador que contiene la interfaz en LabView.

En la figura 38 se muestra la interfaz de usuario empleada para hacer más amigable a la vista las variables sensadas. Esta permitió al usuario configurar el puerto de comunicación serial entre el modem XBee y el software LabView y visualizar las variables Temperatura, Carga de la batería y Velocidad de forma gráfica.

Además se añadió una pestaña con el historial de cada dato mediante gráficos, datos históricos que pueden ser utilizados en trabajos posteriores.

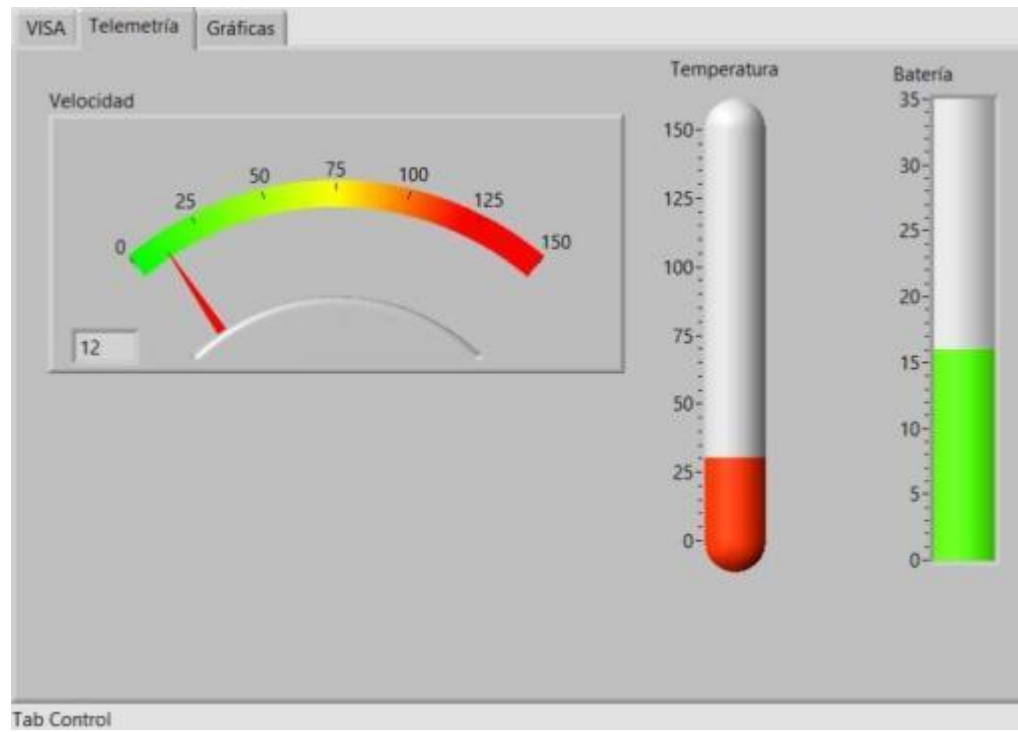


Figura 38. Interfaz gráfica en LabView

La figura 39 muestra el diagrama en bloques de la GUI la cual inicializa la comunicación serial del puerto de entrada en donde se encuentra el XBee receptor. Configurando la velocidad de comunicación y el número de bits.

Se crea un vector que para fines de pruebas se estableció en 5000 datos como se observa en la figura. Cuando el dato serial es 1000 ingresa a la subrutina y se crean 3 vectores, uno por cada variable, allí identifica el número de la iteración en la que se encuentra y se le agrega 1 posición a la cual corresponde la Velocidad, se le agregan 2 posiciones a la cual corresponde la Batería y 3 posiciones para la Temperatura, porque así vienen organizados desde el código Arduino. Finalmente estos datos se imprimen en un cuadro de texto, en indicadores y en gráficos cuya posición horizontal es el tiempo para tener el historial de los datos. Para fines educativos este archivo puede ser editable y se anexa en la documentación.

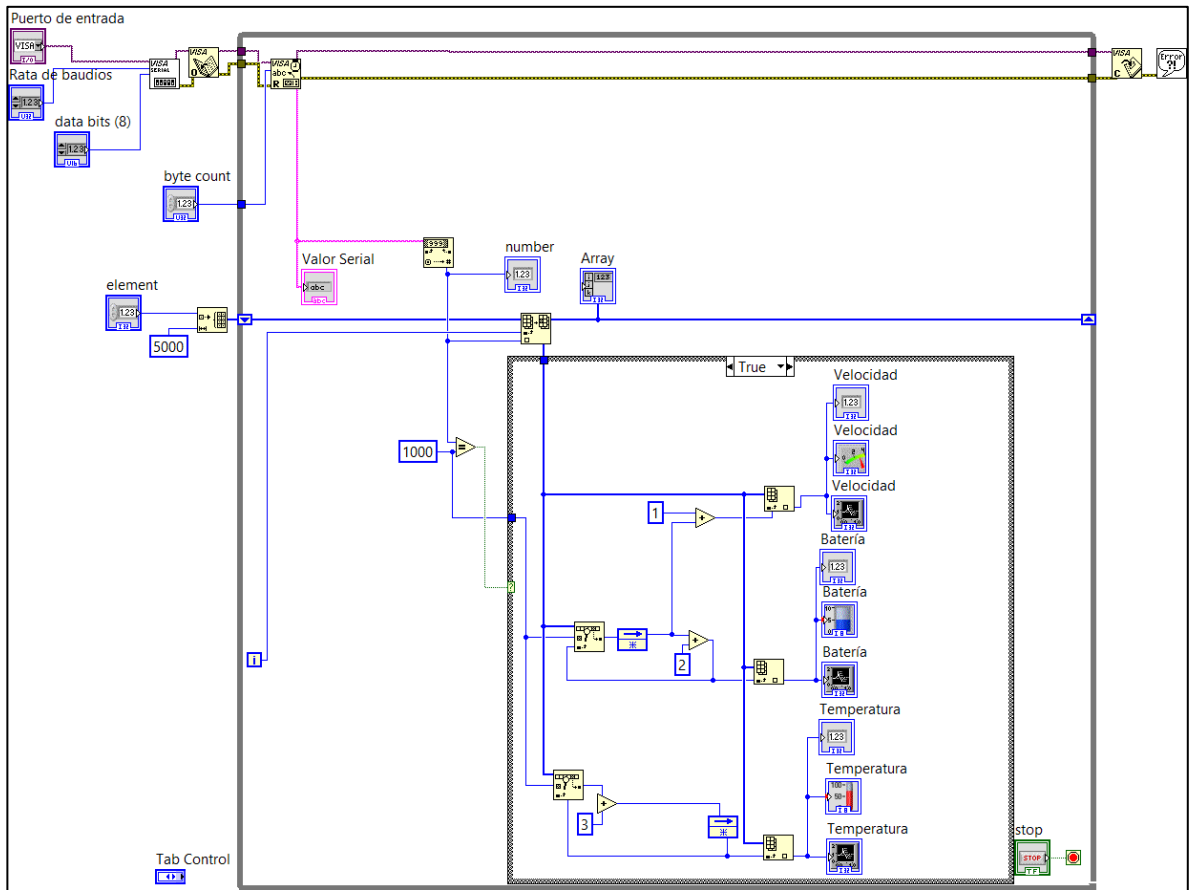


Figura 39. Diagrama en bloques de la GUI en LabView

## **6. PRUEBAS FINALES Y RESULTADOS OBTENIDOS**

Tras el desarrollo del presente proyecto el sistema simulador de la telemetría representó el comportamiento del monoplaza FSO2e con dispositivos de práctico acceso para los estudiantes de la facultad de Ingeniería Electrónica.

Se logró diseñar e implementar los módulos de temperatura, nivel de carga de tensión de las baterías y RPM del motor y documentarlos para usarlos en el laboratorio de comunicaciones.

El sistema funcionó adecuadamente y permite al estudiante interesado afianzar sus conocimientos y aplicarlos en la industria.

Cabe resaltar que se obtuvo el conocimiento necesario para el uso del Arduino, de los módulos XBee y del software LabView para la interfaz gráfica de usuario.

## 7. CURSO DE CAPACITACIÓN

El presente proyecto de grado fue compartido con los:

- Docentes:
  - ✓ Jhon Jairo Padilla
  - ✓ Jairo Viola
  - ✓ Alex Alberto Monclou
- Estudiante:
  - ✓ Nelson Alberto Díaz

Para el Laboratorio de comunicaciones se deja el manual de instrucciones en donde se especifican los pasos a seguir y las configuraciones de los dispositivos.

## 8. CONCLUSIONES

- El aprendizaje en el uso de nuevas tecnologías contribuye a complementar lo aprendido en el aula y a proyectarlo a casos reales como el que se desarrolló en este proyecto, teniendo en cuenta que la idea salió de la práctica desarrollada en el proyecto ECOSENA y se aplicó y documentó para el laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la UPB.
- Este proyecto deja una gran experiencia en cuanto a desarrollo e implementación de tecnologías en automóviles de carreras, tema que aparentemente no involucra a la ingeniería electrónica, pero con los nuevos desarrollos en la industria automotriz es necesaria la aplicación de la electrónica tanto en la parte mecánica como en la parte de telemetría.
- Se observa el desarrollo de tecnologías que en un futuro cercano se utilizarán para comunicar, sensar y controlar remotamente las variables principales de un vehículo como son velocidad, revoluciones del motor, presión de las ruedas, temperatura del motor y en algunos casos la aplicación de esta tecnología en biotelemetría, la cual involucra directamente al piloto.
- En algunas ocasiones las soluciones a las necesidades propuestas se logran con dispositivos de fácil alcance en el mercado, y tanto en el proyecto Fórmula SENA ECO como en el prototipo desarrollado para la UPB se cumplió con este propósito.
- La telemetría no sólo es útil para el monitoreo de señales de automóviles o competencias de carrera. También se puede implementar en el monitoreo de señales médicas, incluso si es necesario se puede utilizar el telecontrol.
- El trabajo de proyectos multidisciplinarios que se desarrolló junto a Mecánicos con conocimientos en la parte automotriz, Ingenieros mecánicos que diseñaron la estructura del FSO2e con su respectivo análisis de fuerzas e ingenieros de sistemas fue gratificante por el aprendizaje que se desarrolló en el ambiente de trabajo y la integración de diversos saberes.
- Como aporte se deja para el laboratorio de comunicaciones el prototipo y su documentación para el uso de los diversos implementos desarrollados en este proyecto de grado.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MORALES BEJARANO, José Daniel. Diseño, construcción e implementación de un sistema de telemetría para un vehículo de Karting. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Agosto 2012. Tomado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4941/1/CD-4478.pdf>
- [2] BARRAGÁN CRUZ, Bladimir. MORA CARO, Miguel Ángel. Telemetría para un automóvil de carreras. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. 2007. Tomado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/16189/2/44991102.pdf>
- [3] ANGUERA, Jaume. PÉREZ, Antonio. Teoría de Antenas. LaSalle online. España. 2008 [http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook\\_teoría\\_antenas.pdf](http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoría_antenas.pdf)
- [4] AVENDAÑO, Luis Enrique. Universidad Tecnológica De Pereira. Tomado de: <http://www.utp.edu.co/~mauriciorami/libro2.pdf>
- [5] CARRERA CADENA, Carlos Andrés. GUAINA MEJÍA, Luis Miguel. Control remoto de robots usando módulos de radiofrecuencia XBee a 2.4GHz con capacidad de comunicación serial a datalogger e interfaz gráfica. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 23 de julio de 2010. Tomado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/11180>
- [6] Arduino. [Citado: 26 de septiembre de 2010] Tomado de: <http://www.arduino.cc/es/>
- [7] Banzi, Massimo. Getting started with arduino
- [8] Tojeiro Calaza, Germán. Taller de arduino: un enfoque práctico para principiantes. -- México : Alfaomega Grupo editor