



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA UNIDIRECCIONAL APLICADO EN EL PROTOTIPO ELÉCTRICO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JUAN CARLOS CASTILLO ZHINGRE

CARLOS ANDRÉS VALVERDE JIMÉNEZ

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA UNIDIRECCIONAL APLICADO EN EL PROTOTIPO ELÉCTRICO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JUAN CARLOS CASTILLO ZHINGRE

CARLOS ANDRÉS VALVERDE JIMÉNEZ

DIRECTOR: Ing. CELIN ABAD PADILLA PADILLA

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Juan Carlos Castillo Zhingre & Carlos Andrés Valverde Jiménez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, JUAN CARLOS CASTILLO ZHINGRE y CARLOS ANDRÉS VALVERDE JIMÉNEZ, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 7 de septiembre de 2021



Juan Carlos Castillo Zhingre

110566392-4



Carlos Andrés Valverde Jiménez

050349260-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA UNIDIRECCIONAL APLICADO EN EL PROTOTIPO ELÉCTRICO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**, realizado por los señores: **JUAN CARLOS CASTILLO ZHINGRE** y **CARLOS ANDRÉS VALVERDE JIMÉNEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. José Francisco Pérez Fiallos



Firmado digitalmente por
JOSE FRANCISCO
PEREZ FIALLOS

2021-09-07

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Celin Abad Padilla Padilla



Firmado digitalmente por
CELIN ABAD
PADILLA PADILLA
Fecha: 2021.11.23
18:15:41 -05'00'

2021-09-07

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Javier José Gavilanes Carrión



Firmado digitalmente
por JAVIER JOSE
GAVILANES CARRION
Fecha: 2021.11.25
16:01:46 -05'00'

2021-09-07

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios y a mi madre, a quienes les debo la vida. Sin ellos nada de esto sería posible.

A mi hermano Richard Gaibor, para que recuerde que todos podemos y debemos cumplir las metas planteadas en nuestras vidas.

Y, a mis amigos, aquellos que siempre me motivaron a seguir adelante, sin envidias y rencores.

Carlos Andrés

El presente trabajo de titulación dedico principalmente a mis padres quienes me apoyaron incondicionalmente a lo largo de mi camino, especialmente a mi madre que es la responsable de tan anhelada meta que con sus consejos y buenos principios supo guiarme en todo momento.

A mis hermanas a quienes les tengo mucho cariño y afecto que me dieron toda su confianza y aprecio dándome aliento y motivación para superarme día a día y vencer los obstáculos por delante, a mis sobrinos q forman parte de mi vida gracias por estar siempre a mi lado.

Finalmente, a mis compañeros de carrera que me supieron dar una mano para la realización de mi objetivo.

Juan Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitir alcanzar esta meta en mi vida.

A mi madre Hortencia Valverde, por todo el enorme sacrificio que ha hecho y su apoyo incondicional en todo momento. Es una muestra de superación y bondad.

A mi abuelita Bertha Jiménez por su gran amor y cuidado.

Y, a la Escuela de Ingeniería Automotriz por darme la oportunidad de prepararme juntos a compañeros y docentes de calidad.

Carlos Andrés

Primeramente, agradezco a Dios por darme la salud y fortaleza de permitirme culminar mi carrera universitaria, a mis padres por la paciencia y sus sabios consejos que supieron inculcarme en los momentos más difíciles, a mis hermanas por brindarme cariño y palabras de aliento siendo una parte importante en esta etapa de mi vida profesional.

De igual manera, agradezco a los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz por ser nuestros guías y la ayuda brindada durante el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Juan Carlos

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xiii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xiv |
| RESUMEN..... | xv |
| SUMMARY..... | xvi |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I | |
| 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.1. Antecedentes..... | 2 |
| 1.2. Justificación..... | 3 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. <i>Objetivo General</i> | 3 |
| 1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 3 |
| CAPÍTULO II | |
| 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 5 |
| 2.1. Competencias de la Fórmula SAE..... | 5 |
| 2.2. Sensores..... | 7 |
| 2.2.1. <i>Tipos de sensores</i> | 7 |
| 2.3. Magnitudes a monitorear..... | 8 |
| 2.3.1. <i>Velocidad</i> | 8 |
| 2.3.1.1. <i>Sensores de velocidades</i> | 8 |
| 2.3.2. <i>Presión neumática</i> | 10 |
| 2.3.2.1. <i>Sensores de presión</i> | 11 |
| 2.3.3. <i>Carga de batería</i> | 13 |
| 2.3.3.1. <i>Mediciones de voltaje</i> | 13 |
| 2.3.4. <i>Sistema de suspensión</i> | 14 |
| 2.3.5. <i>Sistemas de ubicación</i> | 15 |
| 2.3.5.1. <i>Tipos de geolocalización</i> | 16 |
| 2.4. Sistemas de comunicación inalámbrica..... | 17 |
| 2.4.1. <i>Radiofrecuencia</i> | 17 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.4.2. | <i>Bluetooth</i> | 18 |
| 2.4.3. | <i>Tarjeta de comunicación Xbee</i> | 18 |
| 2.4.4. | <i>WiFi</i> | 19 |
| 2.5. | Tarjetas de desarrollo | 20 |
| 2.5.1. | <i>Arduino</i> | 20 |
| 2.5.2. | <i>Raspberry PI</i> | 21 |
| 2.6. | Telemetría | 22 |

CAPÍTULO III

| | | |
|----------|--|----|
| 3. | MARCO METODOLÓGICO | 24 |
| 3.1. | Diagrama de etapas del proyecto | 24 |
| 3.2. | Metodología de investigación a realizar | 25 |
| 3.2.1. | <i>Tipos de investigación</i> | 25 |
| 3.2.1.1. | <i>Investigación bibliográfica</i> | 25 |
| 3.2.1.2. | <i>Investigación aplicada</i> | 25 |
| 3.2.1.3. | <i>Investigación experimental</i> | 26 |
| 3.3. | Cronograma de actividades | 26 |
| 3.4. | Recursos y materiales | 27 |
| 3.4.1. | <i>Materiales</i> | 27 |
| 3.4.2. | <i>Equipos</i> | 28 |
| 3.4.3. | <i>Recursos humanos</i> | 28 |
| 3.4.4. | <i>Recursos económicos</i> | 29 |
| 3.5. | Desarrollo del sistema | 31 |
| 3.6. | Concepción general del sistema | 31 |
| 3.7. | Diseño de las etapas que conforman al sistema | 32 |
| 3.7.1. | <i>Etapa de adquisición de datos</i> | 33 |
| 3.7.2. | <i>Etapa de procesamiento y transmisión</i> | 33 |
| 3.7.3. | <i>Etapa de monitoreo en interfaz (telemetría)</i> | 33 |
| 3.8. | Descripción de los elementos a conformar el sistema | 34 |
| 3.8.1. | <i>Arduino Mega</i> | 34 |
| 3.8.2. | <i>Arduino nano</i> | 35 |
| 3.8.3. | <i>Módulo NRF24L01</i> | 35 |
| 3.8.4. | <i>Módulo Xbee S2</i> | 36 |
| 3.8.5. | <i>Sensor de presión HK1100C</i> | 37 |
| 3.8.6. | <i>Módulo GPS NEO-6</i> | 38 |
| 3.8.7. | <i>Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BX</i> | 39 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.8.8. | <i>Convertidor de voltaje MT3608</i> | 39 |
| 3.8.9. | <i>Batería 18650</i> | 40 |
| 3.9. | Esquema electrónico de conexiones | 41 |
| 3.10. | Software de desarrollo | 42 |
| 3.10.1. | <i>IDE de Arduino</i> | 42 |
| 3.10.2. | <i>Software LabView</i> | 43 |
| 3.11. | Diagramas de flujo para el software del sistema | 44 |
| 3.12. | Diseño del sensor de detección de carga | 45 |
| 3.13. | Diseño de bloque de carga para sensor de suspensión | 46 |
| 3.14. | Implementación física del sistema de telemetría | 48 |
| 3.14.1. | <i>Placa para medir presión neumática</i> | 48 |
| 3.14.1.1. | <i>Funcionamiento</i> | 48 |
| 3.14.2. | <i>Placa master</i> | 50 |
| 3.14.2.1 | <i>Funcionamiento</i> | 50 |
| 3.14.3. | <i>Placa receptora de datos</i> | 53 |
| 3.14.3.1. | <i>Funcionamiento</i> | 53 |
| 3.14.3.2. | <i>Calibración de la comunicación por Xbee</i> | 54 |
| 3.14.4. | <i>Interfaz de usuario en LabView</i> | 55 |
| 3.14.5. | <i>Base de datos</i> | 55 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|----------|--|----|
| 4. | RESULTADOS | 57 |
| 4.1. | Instalación del sistema de telemetría | 57 |
| 4.1.1. | <i>Instalación general del sistema</i> | 57 |
| 4.1.1.1. | <i>Suspensión</i> | 57 |
| 4.1.1.2. | <i>Velocidad</i> | 59 |
| 4.1.1.3. | <i>Presión</i> | 60 |
| 4.1.1.4. | <i>Tarjeta máster</i> | 61 |
| 4.1.1.5. | <i>Telemetría e interfaz</i> | 62 |
| 4.1.2. | Obtención y análisis de resultados | 64 |
| 4.1.2.1. | <i>Comunicación</i> | 64 |
| 4.1.2.2. | <i>Velocidad</i> | 65 |
| 4.1.2.3. | <i>Presión</i> | 66 |
| 4.1.2.4. | <i>Suspensión</i> | 67 |
| 4.1.2.5. | <i>GPS</i> | 67 |
| 4.1.2.6. | <i>Descarga de la batería</i> | 68 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2. Interpretación del sistema de telemetría..... | 68 |
| CONCLUSIONES..... | 70 |
| RECOMENDACIONES..... | 71 |
| GLOSARIO | |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tabla 1-2: | Resumen de tarjetas de desarrollo | 21 |
| Tabla 2-2: | Tarjetas de desarrollo Raspberry | 22 |
| Tabla 1-3: | Tipos de investigación..... | 25 |
| Tabla 2-3: | Cronograma de actividades | 26 |
| Tabla 3-3: | Materiales para realizar el sistema..... | 27 |
| Tabla 4-3: | Equipos a utilizar en el sistema | 28 |
| Tabla 5-3: | Actividades del recurso humano..... | 28 |
| Tabla 6-3: | Costos directos del sistema..... | 30 |
| Tabla 7-3: | Costos indirectos del sistema..... | 30 |
| Tabla 8-3: | Costo total del sistema..... | 31 |
| Tabla 9-3: | Características de Arduino Mega..... | 34 |
| Tabla 10-3: | Características Arduino Nano..... | 35 |
| Tabla 11-3: | Características del módulo NRF24L01..... | 36 |
| Tabla 12-3: | Características del módulo Xbee | 37 |
| Tabla 13-3: | Características del sensor de presión | 38 |
| Tabla 14-3: | Características de GPS NEO-6..... | 38 |
| Tabla 15-3: | Especificaciones técnicas del sensor inductivo..... | 39 |
| Tabla 16-3: | Características del convertidor MT3608..... | 40 |
| Tabla 17-3: | Características de batería 18650 | 41 |
| Tabla 1-4: | Valores de velocidad del sistema de telemetría | 65 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Figura 1-1: | Telemetría en automóviles | 3 |
| Figura 1-2: | Competencias de CDS SAE..... | 5 |
| Figura 2-2: | Fórmula SAE eléctrica | 6 |
| Figura 3-2: | Fórmula SAE eléctrica | 6 |
| Figura 4-2: | Distintos tipos de sensores | 7 |
| Figura 5-2: | Sensor magnético de reactancia | 9 |
| Figura 6-2: | Sensor de efecto Hall para velocidad | 10 |
| Figura 7-2: | Sensor magneto resistivo | 10 |
| Figura 8-2: | Sensor AEP DMM2 | 11 |
| Figura 9-2: | Sensor de presión diferencial AEP DF2..... | 12 |
| Figura 10-2: | Transductor de presión robusto P981 | 12 |
| Figura 11-2: | EB 100 sensor de presión miniatura..... | 13 |
| Figura 12-2: | Batería en un vehículo | 13 |
| Figura 13-2: | Mediciones de carga en batería | 14 |
| Figura 14-2: | Tipo de suspensión..... | 15 |
| Figura 15-2: | Geolocalización | 15 |
| Figura 16-2: | Geolocalización por GPS | 16 |
| Figura 17-2: | Geolocalización con GSM | 16 |
| Figura 18-2: | Sistema de radiofrecuencia instalada | 17 |
| Figura 19-2: | Logotipo Bluetooth..... | 18 |
| Figura 20-2: | Tarjeta Xbee | 19 |
| Figura 21-2: | Wifi..... | 20 |
| Figura 22-2: | Sistemas de telemetría..... | 22 |
| Figura 1-3: | Esquema general del sistema de telemetría | 32 |
| Figura 2-3: | Esquema por bloques del sistema..... | 33 |
| Figura 3-3: | Arduino Mega..... | 34 |
| Figura 4-3: | Arduino Nano | 35 |
| Figura 5-3: | Módulo NRF24L01..... | 36 |
| Figura 6-3: | Módulo Xbee | 37 |
| Figura 7-3: | Sensor de presión HK1100C..... | 37 |
| Figura 8-3: | Módulo GPS NEO-6..... | 38 |
| Figura 9-3: | Sensor de proximidad LJ12A3..... | 39 |
| Figura 10-3: | Convertidor de voltaje MT3608..... | 40 |
| Figura 11-3: | Batería 18650..... | 41 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| Figura 12-3: | Diagrama electrónico del sistema de telemetría | 42 |
| Figura 13-3: | Entorno de programación IDE Arduino | 43 |
| Figura 14-3: | Software LabView | 43 |
| Figura 15-3: | Circuito divisor de voltaje..... | 46 |
| Figura 16-3: | Resultados del divisor de voltaje..... | 46 |
| Figura 17-3: | Sensor de carga por ballestas | 47 |
| Figura 18-3: | Diseño del sensor de carga de suspensión..... | 47 |
| Figura 19-3: | Diseño de PCB de primera tarjeta | 49 |
| Figura 20-3: | Vista en 3D de la primera placa | 49 |
| Figura 21-3: | Placa de sensor de presión | 50 |
| Figura 22-3: | Placa master | 51 |
| Figura 23-3: | Visualización tarjeta master | 51 |
| Figura 24-3: | Implementación de tarjeta master | 52 |
| Figura 25-3: | Colocación de la placa master..... | 52 |
| Figura 26-3: | Placa receptora de datos..... | 53 |
| Figura 27-3: | Tarjeta receptora de datos | 54 |
| Figura 28-3: | Configuración del módulo receptor de datos..... | 54 |
| Figura 29-3: | Configuración del módulo emisor de datos..... | 54 |
| Figura 30-3: | Interfaz de telemetría en LabView | 55 |
| Figura 31-3: | Base de datos | 56 |
| Figura 1-4: | Implementación del módulo máster | 57 |
| Figura 2-4: | Fijación del sensor de suspensión | 58 |
| Figura 3-4: | Diagrama de conexión de los módulos de suspensión hacia el máster | 58 |
| Figura 4-4: | Fijación del sensor para la velocidad | 59 |
| Figura 5-4: | Diagrama de conexión del sensor de velocidad hacia el master | 60 |
| Figura 6-4: | Fijación del sensor de presión | 61 |
| Figura 7-4: | Diagrama de conexión sensores de presión hacia le master | 61 |
| Figura 8-4: | Fijación de la tarjeta máster | 62 |
| Figura 9-4: | Diagrama general de conexión a la tarjeta master | 62 |
| Figura 10-4: | Implementación del sistema de telemetría | 63 |
| Figura 11-4: | Interfaz gráfica de la telemetría..... | 64 |
| Figura 12-4: | Comunicación entre tarjetas..... | 64 |
| Figura 13-4: | Datos llegados al receptor | 65 |
| Figura 14-4: | Implementación del sensor de presión | 66 |
| Figura 15-4: | Gráficas trazadas por la suspensión del vehículo | 67 |
| Figura 16-4: | Ubicación del GPS..... | 68 |
| Figura 17-4: | Indicador de voltaje de la batería | 68 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1-3: Diagrama de etapas del sistema | 24 |
| Gráfico 2-3: Diagrama de flujo en el módulo master | 44 |
| Gráfico 3-3: Diagrama de flujo en el receptor | 45 |
| Gráfico 1-4: Valores de presión vs voltaje | 66 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** FICHA TÉCNICA DE TARJETA XBEE
- ANEXO B:** FICHA TÉCNICA Y PINES DE TARJETAS ARDUINO
- ANEXO C:** FICHA TÉCNICA DEL SENSOR DE PRESIÓN
- ANEXO D:** DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR INDUCTIVO
- ANEXO E:** FICHA TÉCNICA ANTENA GPS
- ANEXO F:** CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN
- ANEXO G:** VISTA 3D DEL MÓDULO MÁSTER
- ANEXO H:** DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIÓN
- ANEXO I:** MANUAL DE USUARIO DE TELEMETRÍA DEL PROTOTIPO ELÉCTRICO FÓRMULA SAE

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación física de un sistema de monitoreo inalámbrico conocido como telemetría unidireccional, el cual permite la visualización de datos importantes dentro de la competencia internacional Fórmula SAE. Para el desarrollo del proyecto se utilizó los siguientes tipos de investigación: bibliográfica, aplicada y experimental cada una con sus respectivas técnicas y herramientas a través de un método científico. El sistema de telemetría consta de 3 etapas desde la adquisición de datos, el procesamiento de los mismos y la interpretación en la interfaz; diseñadas tanto en hardware como en software, seleccionando los diferentes elementos necesarios en conjunto a sus lenguajes de programación, calibrándolos y verificando su óptimo funcionamiento, consiguiendo dispositivos similares a los sensores de un automóvil liviano procediendo a colocar cada dispositivo en su lugar en conjunto a diseños en 3D para su anclaje al chasis del vehículo, la función de estos sensores es detectar estímulos físicos y transformarlos a señales eléctricas que se pueden interpretar mediante la codificación de las mismas en magnitudes y medidas que el usuario las comprende. En este caso las magnitudes a tomar en cuenta son: presión neumática, ubicación por GPS, voltaje de batería, movimiento de la suspensión y velocidad del vehículo; mismas que serán enviadas de manera inalámbrica por medio de una comunicación usando módulos Xbee y con tarjetas de desarrollo Arduino hacia un centro de monitoreo con una interfaz HMI. Dando como resultado final una presentación ordenada y clara de información de las partes más importantes a tomar en cuenta dentro de las decisiones del grupo de competencia. Se afirma que el tiempo de respuesta de datos que se envían y reciben dependen de la cantidad de variables a monitorear. Mientras más magnitudes a monitorear, mayor será el tiempo que tomará el sistema para transmitir los datos.

Palabras Clave: <TELEMETRÍA>, <FÓRMULA SAE>, <COMUNICACIÓN INALÁMBRICA>, <SUSPENSIÓN>, <PRESIÓN>, <VELOCIDAD>, <MONITOREO>, <TARJETAS DE DESARROLLO>.



Firmado digitalmente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

2155-DBRA-UPT-2021

2021-11-24

SUMMARY

This research aims to the physical implementation of a wireless monitoring system known as one- way telemetry, which allows the visualization of important data within the international Formula SAE competition. The telemetry system consists of 3 stages from data acquisition, data processing, and interpretation in the interface. Designed in both hardware and software, selecting the different elements necessary in conjunction with their programming languages, calibrating them, and verifying their optimal functioning. Getting devices similar to the sensors of an automobile proceeding to place each device in its place together with 3D designs for anchoring to the vehicle chassis. The function of these sensors is to detect physical stimuli and transform them into electrical signals that can be interpreted by coding them into magnitudes and measures that the user understands them. In this case, the magnitudes considered are air pressure, GPS location, battery voltage, suspension movement, and vehicle speed; same that will be sent wirelessly through communication using Xbee modules and with Arduino development boards towards monitoring with an HMI interface. Resulting in an orderly and clear presentation of information of the most important parts to take into account within the group's decisions of competition. It is stated that the response time of data being sent and received depends on the number of variables to monitor, the more magnitudes to monitor, the greater the time it will take for the system to transmit the data.

Keywords: <TELEMETRY> <WIRELESS MONITORING SYSTEM> <WIRELESS COMMUNICATION> <SUSPENSION> <SPEED> <DEVELOPMENT BOARDS>.



INTRODUCCIÓN

En el mundo de las competencias de carreras con prototipos de vehículos creados por estudiantes en universidades a nivel mundial, conocidas con el nombre de Fórmula SAE o Fórmula Student, es necesario la implementación de un vehículo creado por los estudiantes de las carreras técnicas de mecánica. En estos concursos el ganador se establece por la adquisición del mejor puntaje verificando ciertas características del prototipo como su aceleración, la estabilidad del sistema, el frenado regenerativo, etc. Todas estas características deben satisfacer de manera positiva las prestaciones a competiciones con seguridad, fiable de fácil mantenimiento y económico de implementar. (Sanz, 2015a)

En la substracción de problemas relacionados a prototipos de Fórmula, se busca incursionar en sistemas de medición para un monitoreo constante y seguro del vehículo, dando la garantía y seguridad que éste necesita en la competencia evitando deterioro en el vehículo. Todo el sistema de monitoreo por telemetría, ayuda en la mejoría para notificaciones en el menor tiempo posible ante fallos y problemas que el piloto no pudiese considerar al 100%. (Sanz, 2015b)

En este documento se establecerá el análisis e investigación referente a sistemas de telemetría y su implementación en el vehículo de Fórmula SAE del prototipo perteneciente a la facultad de mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Dando su apertura y acondicionamiento para futuras competiciones dentro y fuera del país.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Al hablar netamente de un prototipo que va a estar en un ambiente en constante movimiento, existen factores que determinan el avance óptimo en competencias de vehículos de Fórmula SAE. El movimiento realizado en la carrocería de los vehículos genera varios inconvenientes que con el pasar del tiempo se pueden convertir en grandes y potenciales problemas o incluso desastres en un circuito de competencias.

En el mundo de las competencias, los fabricantes están a la expectativa de ofrecer siempre un vehículo seguro respetando normas y enfocándose en el constante monitoreo de suspensiones, velocidades reales, estabilidad del sistema, entre otros. En la actualidad con la incursión de nuevas tecnologías y la combinación de áreas científicas y técnicas, se han desarrollado distintos tipos de sensores para analizar magnitudes propias del vehículo, que permiten al piloto y al grupo de trabajo conocer el estado actual de las distintas partes que conforman el prototipo. (Eventos, 2021a)

La principal problemática en estos circuitos es que el piloto no puede estar pendiente de todas las magnitudes ni del estado general del vehículo porque esto generaría distracciones, al estar comunicándose constantemente por radioenlaces el piloto no pudiese estar al 100% concentrado en conducir. Lo correcto sería mantener al equipo de trabajo pendiente del estado del vehículo por medio de telemetría, la cual indicaría magnitudes relevantes que indiquen si están o no dentro de los rangos normales; y si en caso no estuviesen en dichos rangos inmediatamente de alerta de la falla sin importar la distancia del vehículo con respecto al centro de monitoreo. (Goncalves, 2014a)

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es una de las instituciones que pertenece a este tipo de competencia con un prototipo con gran interés de ser representante a nivel nacional e internacional, ajustándose a todos los requerimientos de las competencias, puesto que cada año las exigencias de las mismas se amplifican.

1.2. Justificación

Una técnica de comunicaciones totalmente autónoma es la telemetría, que se basa en la recopilación de datos y los envía a un lugar remoto para una constante vigilancia. La herramienta más común utilizada es la transmisión inalámbrica, usada en seguimientos para sistema tripulados, o tripulados entre otros. Con el desarrollo de este tipo de aplicaciones, esta herramienta sigue en un desarrollo permanente en muchos campos científicos. (Ruesca, 2016, p. 1).



Figura 1-1: Telemetría en automóviles

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Por lo citado anteriormente, se llega a la deducción que la telemetría es una herramienta fundamental para este fin, misma que después de monitorear los datos de las variables asignadas los envía por medio de una comunicación inalámbrica hasta la distancia establecida para el puesto de control. Las competencias SAE a nivel mundial tienen distintos tipos de telemetría, con el fin que el rendimiento en las competencias sea un desarrollo amplio en conocimientos e innovación. (Goncalves, 2014b, p. 3)

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

- Implementar una telemetría unidireccional aplicado en un vehículo prototipo Fórmula SAE de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Revisar toda la documentación disponible en tesis de grado, artículos científicos, libros y páginas web para obtener información verídica y sustentable que contribuyan a este proyecto.

- Identificar las variables de mayor incidencia en el comportamiento de los prototipos eléctricos de competición de Fórmula SAE, mediante el estudio de investigaciones similares para la implementación de una telemetría unidireccional que nos permita monitorear los datos de interés.
- Desarrollar una interfaz gráfica con la ayuda de un software para visualizar los datos obtenidos y contribuir en la toma de decisiones en tiempo real.
- Verificar el funcionamiento de telemetría unidireccional por medio de pruebas de campo para comprobar la correcta comunicación de las variables monitoreadas.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Competencias de la Fórmula SAE

En el campo de la ingeniería automotriz, las competencias organizadas por *el Collegiate Desing Series (CDS)* de SAE International, llevan a los futuros y ya graduados ingenieros a realizar la creación de un vehículo real basado en sus conocimientos científicos recibidos en las aulas de clase. Estos eventos realizados a nivel mundial retan a los participantes a lidiar entre equipos buscando el mejor rendimiento para ganar la competencia (Figura 1-2). De este modo el desafío se vuelve primordial, pues que todos los equipos buscan desarrollar una valiosa exposición de su trabajo con una experiencia técnica-práctica, donde reclutadores pueden ayudar a encontrar empleo inmediatamente o gestionar proyectos. (Eventos, 2021b)



Figura 1-2: Competencias de CDS SAE

Fuente: (Eventos 2021)

En las competencias SAE existen varias categorías de competición, entre ellas la competencia de Fórmula SAE, Fórmula SAE eléctrica, Fórmula híbrida, baja SAE. Entre otras; la primera competencia desafía a los distintos grupos a crear vehículo de tipo Fórmula a partir de concebir una idea de diseño, fabricación e implementación, demostrando sus habilidades, creatividad y comparándolas con prototipos de otras instituciones universitarias. Como se puede observar en la Figura 2-2, el prototipo se pone a prueba en una pista diseñada exclusivamente para este tipo de vehículos.



Figura 2-2: Fórmula SAE eléctrica

Fuente: (Eventos 2021)

La segunda competencia llamada Fórmula SAE eléctrica, en la cual su principal característica es la creación de prototipos propulsados con motores eléctricos, como se muestra Figura 3-2. Dichos prototipos están diseñados para un evento dinámico demostrando en todo el circuito su estabilidad, dinámica y eficiencia en toda la ruta. (Eventos, 2021c)



Figura 3-2: Fórmula SAE eléctrica

Fuente: (Eventos, 2021)

Para las competencias de este tipo de prototipos, los controles en sus sistemas son amplios y prolijos durante las vueltas al circuito. Como puede ir solo que normalmente es la forma como se evalúa un vehículo llegando a tener puntos para la posición que podrá llegar a tener en futuras salidas de resistencia. (García, 2015a)

Durante esos procesos de tiempo que pueden ser largos o cortos se somete al prototipo a estrictos eventos donde se comprueba la eficiencia de toda su estructura. Para lo cual obviamente se deberá tener en cuenta la destreza y confiabilidad manejadas por el piloto y por el grupo de trabajo en general. En estos procesos se monitorea varias magnitudes necesarias como la velocidad, suspensión, (García, 2015b)

2.2. Sensores

Denominado también como entrada de señal, estos dispositivos son diseñados con la finalidad de detectar estímulos externos. Estos dispositivos miden las magnitudes de tipo físicas convirtiéndolas en señales eléctricas para una posterior detección por parte de un controlador. Se pueden clasificar de acuerdo a los datos que otorgan a su salida, estos datos pueden ser digitales o analógicos, usados en distintos sistemas tecnológicos. (Guimerans, 2018, p. 2)

Los sensores han sido diseñados por los fabricantes para ser capaces de leer distintas magnitudes al ser expuestos a distintos estímulos en variaciones de las magnitudes físicas, como se puede observar en la Figura 4-2,

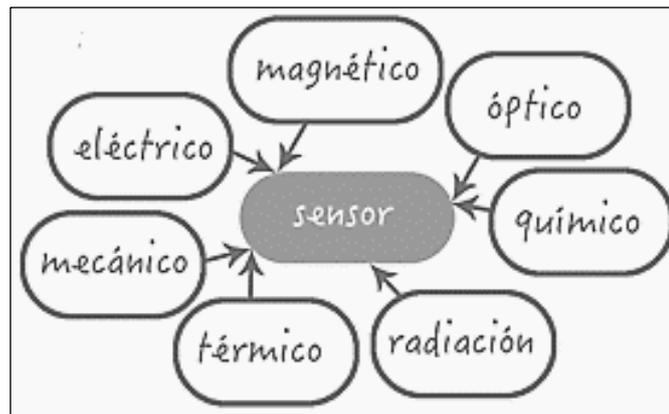


Figura 4-2: Distintos tipos de sensores

Fuente: (Guimerans, 2018)

2.2.1. Tipos de sensores

Como se pudo observar en la figura anterior, los estímulos pueden ser diversos y para cada estímulo pueden existir distintos tipos de sensores, ofreciendo al usuario la mejor opción en cuanto a diseño y robustez se requiera a continuación se citarán algunos tipos de sensores.

- **Sensores de luz, distancia.** - Su función es medir la luz o detectar el cambio de la misma en un espacio determinado cuando un objeto se acerca o se mueve.

- **Sensores acústicos.** - son capaces de reaccionar a estímulos relacionados con la presión de la onda o la velocidad de la onda acústica, para posterior convertirlas en pulsos eléctricos.
- **Sensores de presión y capacitivos.** – estos sensores son simples, entran en activación o desactivación si se encuentran con un objeto.
- **Sensores de temperatura.** - son capaces de realizar de convertir variaciones de temperatura en cambios de señales eléctricas.
- **Sensores de aceleración.** - son muy importantes porque se relaciona la aceleración con respecto a la fuerza que puede experimentar el objeto.
- **Sensores de desplazamiento e inclinación.** - conocidos como potenciómetros los cuales son resistencia con valores que se pueden variar. Los sensores de inclinación funcionan como un interruptor de acuerdo al nivel de inclinación.

2.3. Magnitudes a monitorear

Es claro que el prototipo al estar en una carrera de tipo Fórmula, ciertas magnitudes físicas deberán ser tratadas y monitoreadas para garantizar la eficiencia del vehículo durante todo el tiempo en el circuito. Las magnitudes se encargarán de mostrar al equipo si el rango de operación se encuentra en valores aceptables o no. Algunas de las magnitudes más relevantes se describirán a continuación.

2.3.1. *Velocidad*

La velocidad dentro de la rama de la física, es la magnitud donde se relaciona el espacio que ha recorrido un objeto o partícula con respecto al tiempo que ha empleado para moverse, es decir que permite conocer el desplazamiento de un cuerpo y su dirección, deduciéndose cuán rápido lo hace. Debido a sus características es considerada como una magnitud de tipo vectorial. En sistema internacional de unidades, se mide en m/s. es conocida dentro de la rama de la mecánica como marcha. (Solórzano, 2010)

2.3.1.1. *Sensores de velocidades*

Un sensor de velocidad de un vehículo transfiere la información de la velocidad por medio de corriente alterna hacia la ECU la misma que interpreta como la velocidad real del automotor. Es decir, si el auto va lento, el sensor enviará frecuencias bajas caso contrario enviará frecuencias altas. Lo más relevante de este tipo de sensores es su resistencia a vibraciones constantes, casi

no requieren mantenimiento y soportan incluso golpes. Entre los más comunes se encuentran los de imán permanente que generan un voltaje bajo similar al sistema de encendido y los sensores tipo ópticos, los cuales poseen un diodo emisor de luz o en su caso un sistema de foto transmisión. (SPM, 2018)

Sensor de reluctancia magnética variable. - este tipo de sensor posee un imán y una bobina enrollada sobre él, de esta manera cuando pasa un diente de la rueda frente al sensor, el imán junto a la bobina disminuye a reluctancia, y cuando está vacío la reluctancia aumenta. En los terminales del sensor se puede tener pulsaciones de tensión y el valor de pulsos que se llegue a determinar indicará la velocidad con la que se está trabajando. (Mte Thomson, 2019)



Figura 5-2: Sensor magnético de reactancia

Fuente: (Mte Thomson, 2019)

Sensor de efecto HALL. – El conocido efecto HALL se produce cuando por medio de un conductor fluye una corriente y a la vez sometida a un campo magnético, aparecerá una tensión perpendicular a las magnitudes antes mencionadas. En la Figura 6-2, se puede observar como este tipo de sensor es colocado entre un imán y el diente de engranaje, cada vez que un diente pasa cerca, oscila su entorno y activa el sensor. Es un uso muy versátil en el cálculo de velocidades y sistemas con sincronía. (Digi-key, 2019)



Figura 6-2: Sensor de efecto Hall para velocidad

Fuente: (Digi-key, 2019)

Sensor magneto-resistivo. - Este efecto se fundamenta en el cambio de la resistividad de un material por causa del cambio en el campo magnético que ha sido inducido. La ventaja principal es que el sensor no está directamente unido al elemento activo de giro lo cual permite que su vida útil se alargue. (Gerson Chacón, 2013)

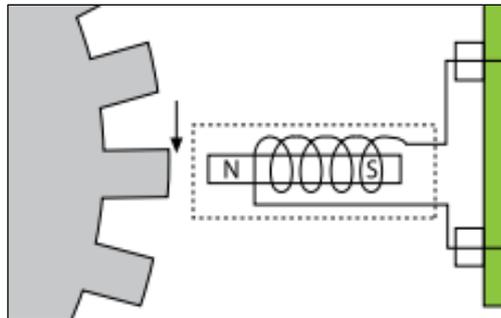


Figura 7-2: Sensor magneto resistivo

Fuente:(AutoAvance, 2015)

2.3.2. *Presión neumática*

La presión en los neumáticos es una de las magnitudes que debe ser tomada en cuenta por seguridad, puesto que es el único elemento que tiene contacto directo con el asfalto; si la presión es demasiada pierde adherencia y su desgaste es mayor, por otro lado, si la presión es menor de la que se recomienda reduce en gran medida el control sobre el vehículo. La medida más utilizada para conocer la presión es la libra por pulgada cuadrada (PSI). (López, 2018a)

En algunas regiones de Europa la presión es medida en bares, donde se deberá tomar en cuenta que 1 bar equivale a 14,503 PSI. La forma más habitual de conocer la medida es usando un

manómetro, siempre y cuando los neumáticos estén fríos, con el auto apagado y en paro. (López, 2018b)

2.3.2.1. Sensores de presión

Los sensores de presión son herramientas habituales en procesos cotidianos, de ensayo e industriales. Su función es cambiar la fuerza registrada en una superficie en una señal de voltaje, misma que será equivalente a la fuerza que se ejerza. Existen varios modelos por la complejidad del espacio donde estarán trabajando, pueden ser para medir la presión del agua, aceite, aire entre otras. (Sensing, 2019a)

Manómetro digital. - Estas herramientas diseñadas para una lectura rápida y precisa en las mediciones realizadas en un punto en concreto. La visualización mediante una pantalla LCD permite una veracidad confiable de lectura, evitando errores en la interpretación por mala ubicación o por daños en agujas como en los tradicionales análogos. (Sensing, 2019b)



Figura 8-2: Sensor AEP

DMM2

Fuente: (Sensing, 2019)

Sensores de presión diferencial. - pensados para realizar una medida entre dos puntos, mismos que serán la salida, ambos pines convergen en una salida de tensión mismo que será positivo si aumenta la presión o negativo si disminuye. Sus modelos pueden tomar datos desde los 40mbar hasta los 600bar dependerá mucho si la presión que se va a estudiar sea en liquido o gases. (Sensing, 2019c)



Figura 9-2: Sensor de presión diferencial AEP DF2

Fuente: (Sensing, 2019)

Sensores para alta presión. – Diseñados para medir valores de presión sumamente altos, la robustez del mismo es necesaria para las distintas áreas de trabajo como civil, química, etc. Llegando a medir miles de bares dependiendo la serie que se tome en cuenta. Este tipo de sensores poseen un revestimiento reforzado y una membrana para soportar mayores cantidades de presión, sus salidas pueden ser analógicas o digitales. (Sensing, 2019d)



Figura 10-2: Transductor de presión robusto P981

Fuente: (Sensing, 2019)

Sensores de presión miniatura. - Su diseño se basa en un tamaño pequeño para evitar que sus dimensiones interfieran lo mínimo posible. Esto también genera que la parte de lectura electrónica sea instalada en la parte de afuera, porque su tamaño exige que todo sea comprimido a lo máximo posible. Todos estos sensores poseen características especiales como su alta precisión, frecuencias de respuesta óptima, compensación inmediata de rangos, y algunas características propias de cada fabricante. (Sensing, 2019e)



Figura 11-2: EB 100 sensor de presión miniatura

Fuente: (Sensing, 2019)

2.3.3. Carga de batería

La batería en un sistema automovilístico, se convierte en un componente importante, puesto que interviene desde el arranque de motores hasta el funcionamiento de cualquier componente eléctrico o electrónico que posea el vehículo. El suministro de energía que otorga la batería hace que todo el vehículo funciones al 100%, sin embargo, la duración de la batería es limitado. Los autos tradicionalmente no tienen un sistema de alerta cuando la carga está a punto de terminar. (Plaza, 2020a)



Figura 12-2: Batería en un vehículo

Fuente:(Plaza, 2020)

2.3.3.1. Mediciones de voltaje

Para conocer si la carga de la batería se encuentra en su punto óptimo, es necesario que el vehículo en el que se va a trabajar debe estar apagado y parqueado. En este punto el voltaje de la batería deberá estar oscilando entre los 12.5 y 12.9 Voltios. Si el vehículo está al ralentí su

voltaje será mayor a los 14.7 voltios. Estos datos obviamente son resultados de ensayos en automóviles según la revista motor.es, se recomienda que la carga de la batería para ser considerada optima deberá ser igual o superior al 60% de carga es decir 12.3V. (Plaza, 2020b)



Figura 13-2: Mediciones de carga en batería

Fuente:.(Plaza, 2020)

2.3.4. Sistema de suspensión

Un componente fundamental en un vehículo cualquiera que este sea es la suspensión. Se podría resumir en dos principales funciones, la de otorgar un confort y seguridad al guiar el vehículo cuando está en marcha. Todo el sistema de suspensión está constituido de varios elementos que otorgan un contacto en la adherencia del vehículo con respecto al suelo, mejorando sustancialmente la dirección y el frenado para una estabilidad al conducir. (Gómez, 2020a, p. 8)

El sistema de suspensión tiene como tarea el absorber todas las irregularidades del suelo, ofreciendo al conductor la confianza de percibir las oscilaciones hasta llegar a la posición original, manteniendo los ejes de la dirección reaccionando en las diferentes fuerzas a la que se vea sometido el auto como frenado, viraje o cuando se apresure con la aceleración. (Gómez, 2020b, p. 8)

Dentro del sistema de suspensión están la suspensión independiente en la cual la reacción que sufre una rueda no le afecta a la otra rueda y las de eje rígido, donde sí se ve la afectación considerable en la rueda compañera. (Gómez, 2020c, p. 10)



Figura 14-2: Tipo de suspensión

Fuente: (Gómez, 2020)

2.3.5. *Sistemas de ubicación*

Desde tiempos inmemorables los instrumentos de localización se han convertido en una herramienta fundamental para conocer la ubicación real, pasando desde la brújula, a sistemas más compactos como el posicionamiento por satélites (GPS), o un sistema de registro de información geográfica (SIG). Indistintamente lo que llegase a utilizarse, la geolocalización es la fusión entre herramientas digitales con una ubicación física. La combinación de la tecnología actual, dispositivos y geolocalización permiten acceder a ubicaciones geográficas reales en todo el mundo. (Rebeca Zuñiga, 2009, p. 2)



Figura 15-2: Geolocalización

Fuente: (OSI, 2016)

2.3.5.1. Tipos de geolocalización

GPS. - Sistema de posicionamiento global, la cual es una red conformada por varios satélites que orbitan alrededor del planeta, los satélites artificiales pueden ser un conjunto de decenas, de los casi 30 o más que suelen conformar una red GPS, 4 están visibles para los dispositivos de los usuarios. Mientras más satélites formen parte es un posicionamiento, más exacto será la triangulación y por ende también su localización. (KZgunea, 2018a, p. 1)

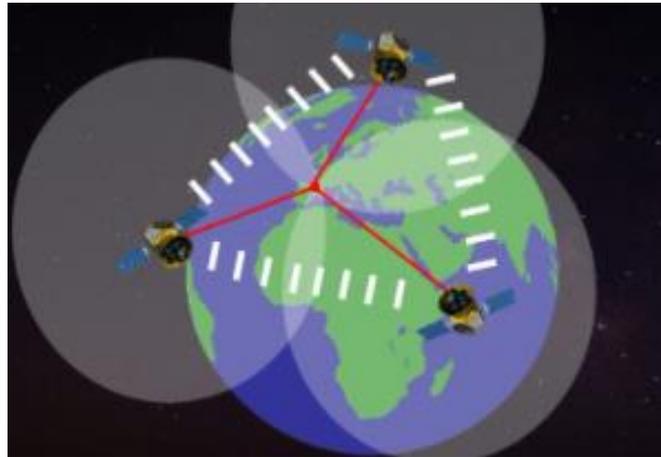


Figura 16-2: Geolocalización por GPS

Fuente: (KZgunea, 2018)

GSM. - Esta herramienta se ha convertido en una de las comunicaciones más usadas en el mundo, el sistema global de comunicaciones móviles, utiliza una serie de redes telefónicas en general. Existen distintas antenas a lo largo y ancho de una nación, y cuya finalidad es dar cobertura de señales telefónicas a los celulares. La aproximación entre torres, la fuerza de transmisión de la señal, se puede llegar a tener una ubicación, sin embargo, es bastante inexacto, puede tener un error de 200 m. (KZgunea, 2018b, p. 1)

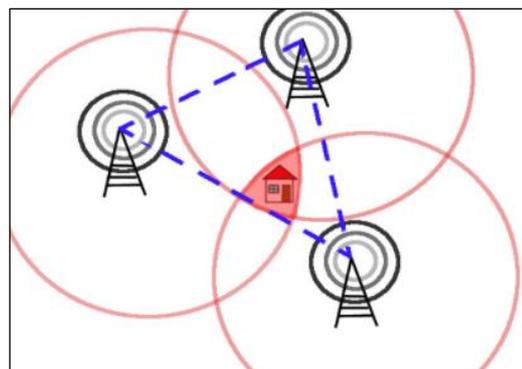


Figura 17-2: Geolocalización con GSM

Fuente: (KZgunea 2018)

2.4. Sistemas de comunicación inalámbrica

En el mundo de las comunicaciones existen unas que resaltan por las ventajas que ofrecen en las distintas aplicaciones, se está hablando de las comunicaciones inalámbricas las que usan ondas de radio para enlazar dos o más dispositivos evitando la utilización de cables; este tipo de comunicación ofrece distintos beneficios dentro de las aplicaciones implementadas. Entre las más representativas se pueden citar las siguientes:

2.4.1. Radiofrecuencia

Dentro de las comunicaciones inalámbricas, la radiofrecuencia ha sido una herramienta revolucionaria en muchos campos desde aplicaciones médicas, lecturas de signos vitales en pacientes, monitoreo de autos, intercambio de información, entre otras aplicaciones de importancia dentro del campo de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. La radiofrecuencia trabaja en un rango de los 3 HZ hasta los 300GHz, su clasificación se puede entender de mejor manera estudiando el espectro electromagnético, en el cual se puede verificar la longitud de onda que puede cubrir desde los pocos metros hasta los cientos de metros. (INCIBE, 2019a, p. 1)

La utilización de esta herramienta se debe exclusivamente a la forma como se transmite las ondas de forma esférica desde el emisor, puede llegar a cubrir un amplio espacio de terreno y tener seguridad mediante protocolos de seguridad en la comunicación. Existe un riesgo que es netamente importante que, al poder utilizar varias frecuencias dentro del rango establecido, el usuario se puede topar con otro tipo de dispositivos que trabaje a la misma frecuencia, lo cual generaría problemas e interferencia en los distintos implementos. (INCIBE, 2019b, p. 1)

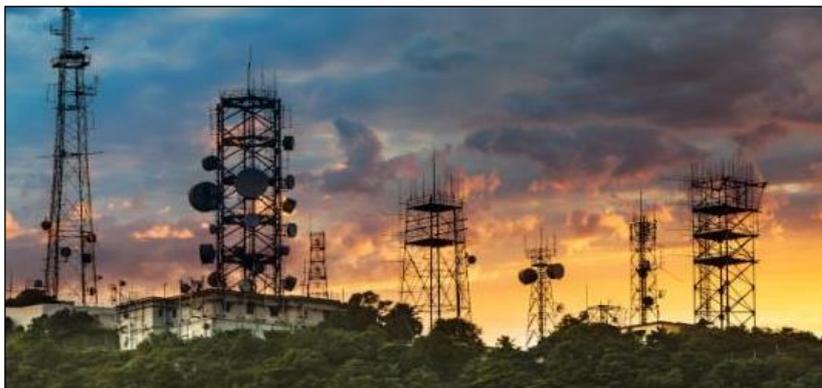


Figura 18-2: Sistema de radiofrecuencia instalada

Fuente: (INCIBE, 2019)

2.4.2. *Bluetooth*

La tecnología bluetooth es un patrón inalámbrico permitiendo la interacción a través entre dispositivos intercambiando todo tipo de información, desde videos, documentos musica imágenes entre otros. Tiene varias versiones siendo las más actuales el bluetooth 5.0 y la 5.2 las cuales incluyen mayor velocidad menor consumo energético y también un alcance superior a las versiones anteriores. Los tipos de bluetooth existentes son las versiones bluetooth 1.0, bluetooth 2.0, bluetooth 3.0, bluetooth 4.0 y bluetooth 5.0. (García, 2020a)

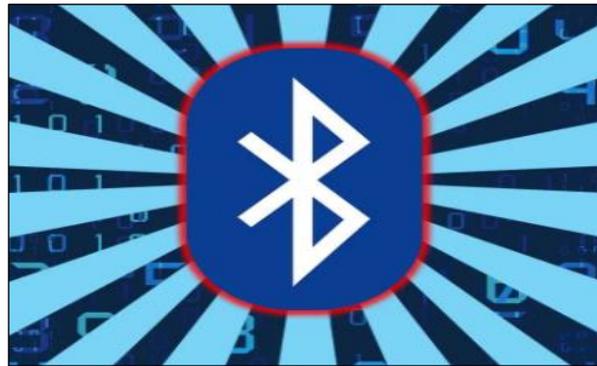


Figura 19-2: Logotipo Bluetooth

Fuente:(García, 2020)

A pesar que en la actualidad se tiene a la mano el acceso a diferentes aplicaciones y plataformas para poder compartir información, hace unos años atrás no era posible o no existían estas plataformas por lo que el bluetooth era una herramienta necesaria, puesto que siempre ha sido su funcionalidad su uso para la transmisión y e intercambio de archivos sin la utilización de cables. Es una herramienta muy necesaria y utilizada para evitar el uso de datos móviles cuando se trate de intercambiar información. (García, 2020b, p. 2)

2.4.3. *Tarjeta de comunicación Xbee*

Las tarjetas de comunicación Xbee son dispositivos que son utilizados para la comunicación inalámbrica, con diferentes combinaciones de protocolos, antenas y algunas versiones de potencias. La potencia de transmisión depende del material que se está empleando. Como ejemplo

Antenas de cable. - Dichos dispositivos poseen en la placa PCB una antena con un cable, mismo que sobresale de la tarjeta XBEE.

Antena de chip. - la antena se convierte en un dispositivo de cerámica que va al ras del cuerpo de la Xbee. Se convierte en un modelo innovador a pesar de su desventaja al atenuarse en todas las direcciones.

Antena PCB. – la antena es impresa en la misma placa del circuito del sensor Xbee. La implementación de estas antenas se ha convertido en un ente regional, pues su costo de implementación es mucho menor que las anteriores.

U. FL y conector RPSMA. - es usado cuando se busca direccionar la antena, a diferentes posiciones dentro del rango de operación. (Coronado, 2013a, p. 1)



Figura 20-2: Tarjeta Xbee

Fuente: (Coronado, 2013)

Las tarjetas Xbee son muy fáciles de manejar, ofreciendo al usuario la oportunidad de tener una comunicación punto a punto o en su defecto una comunicación punto multipunto. Lo cual lo hace excepcional para aplicaciones de maestro esclavo. La potencia de transmisión puede llegar a tener una cobertura de alrededor de 1 a 1.5 millas, dependiendo de la serie con la que se trabaje. (Coronado, 2013b, p.1)

2.4.4. WiFi

La tecnología Wireless Fidelity (WiFi) o fidelidad inalámbrica, es una tecnología basada en el protocolo 802.11 empleada para la transmisión en internet, la conexión inalámbrica entre dispositivos ha permitido garantizar su comunicación, interacción y operación permitiendo una compatibilidad entre los mismos con total seguridad y facilidad. Su función es utilizar ondas de radio para la transmisión de datos, suele utilizar la frecuencia de los 2.4GHZ o 5 GHz, todo dependerá del uso al que se le asigne los componentes de la red. (AZZone, 2021a, p. 1)

El área de comunicación para este tipo de tecnología es comúnmente conocida como el punto de acceso, el mismo que crea una red WLAN a la que distintos dispositivos se pueden conectar. En muchas ocasiones las nuevas tecnologías permiten conectarse a una red y compartir datos a otros usuarios. Comúnmente eso se puede observar en los teléfonos inteligentes. (AZZone, 2021b, p. 1)



Figura 21-2: Wifi

Fuente: (AZZone, 2021)

Entre las múltiples ventajas que ofrece este tipo de comunicación, es la facilidad que se tiene para conectarse sin la necesidad de usar una conexión física por medio de cables. La comodidad que existe es única pues se puede trasladar con el dispositivo por toda el área de conexión sin que se ve limitado la señal de conexión, y al no tener conexiones físicas el sistema se vuelve menos costoso. (AZZone, 2021c, p. 1)

2.5. Tarjetas de desarrollo

Las placas de desarrollo son consideradas como una placa con un microcontrolador en el cual se ejecutarán todas las líneas de programación, la circuitería que rodea al microcontrolador suministra el voltaje para el óptimo funcionamiento tanto del microcontrolador e incluso a elementos externos en actuadores o sensores. (Ordiales, 2017a, p. 1)

En la actualidad existe varias tarjetas de desarrollo, cada una con distintas características de acuerdo a las necesidades del usuario. Entre las distintas necesidades o aplicaciones que se puede tener son tarjetas de IoT, dispositivos portátiles, o de inteligencia artificial. La variedad permite seleccionar la adecuada para los distintos proyectos. (Ordiales, 2017b, p. 1)

2.5.1. Arduino

Dentro de la programación con el uso de microcontroladores aparecen las tarjetas Arduino, las cuales al basarse en la utilización de software libre han hecho de esta tecnología un universo gigante para las distintas aplicaciones. A continuación, se explicará brevemente algunas de estas tarjetas de desarrollo. (Ordiales, 2017c, p. 2)

Tabla 1-2: Resumen de tarjetas de desarrollo

| TARJETA | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS | DATOS ELECTRÓNICOS |
|-----------------|--|---|
| Arduino Uno | Microcontrolador ATmega328, 8 bits a 16MHz, trabaja a 5v, cada pin puede trabajar con corriente de hasta 40mA | 14 pines digitales, 6 analógicos 6 se pueden usar como PWM |
| Arduino Genuino | Posee un módulo Intel Curie de 32 bits, posee un microcontrolador x86, | 384KB de memoria, DSP, bluetooth, giroscopio, posee características similares al anterior compatibles con sus shields |
| Arduino Due | Microcontrolador Atmel CortexM3, de 84MHz, 512KB de memoria flash, trabaja sus pines a 3.3v y a 5v con 130-800mA respectivamente | 54 pines E/S digitales, tiene 12 como PWM, 12 analógicos, 4 UARTs, conexión USB y 2 DAC |
| Arduino Mega | Posee un ATmega 2560 a 16MHz, microcontrolador de 8 bits, ideal para aplicaciones con más pines y potencia. | 54 pines digitales de los cuales 15 son PWM, 16 analógicos. |
| Arduino Nano | Posee un ATmega168 a 16MHz, necesita un cable mini USB, | 14 pines digitales de los cuales 6 son PWM, 8 analógicos, |
| Arduino ProMini | Controlador ATmega 168, de 8MHz y 16MHz trabajando a 3.3 y 5v respectivamente. | 14 pines E/S 6 de ellos PWM, 6 analógicos, |
| Arduino micro | ATmega32u4 a 16MHz, similar al Arduino Leonardo. | 20 pines digitales de ellos 7 PWM, 12 analógicos, comunicación USB |

Fuente: (Ordiales 2017)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

2.5.2. Raspberry PI

Las tarjetas Raspberry Pi basan su tecnología en la utilización de un ordenador de bajo costo, tu tamaño reducido lo hace óptimo para varias aplicaciones que se pueden conectar a un Smart tv y mediante un teclado externo se puede interactuar directamente como si se tratara de un computador tradicional. (Luis, 2018a)

Está compuesto por un CPU, memoria RAM, conexiones de periféricos de entrada y salida, es prácticamente la parte trasera de un ordenador, pero sin interruptor de encendido o apagado como tradicionalmente se tiene en una computadora. A pesar de tener el código abierto para su programación, en *hardware* esto no se da, existen varios dispositivos externos que pueden ser

usados para una mejor adaptación con la tarjeta, pero para esto se tendrá que comprar dichos elementos en línea o en el mercado. (Luis, 2018b)

Tabla 2-2: Tarjetas de desarrollo Raspberry

| TARJETA | CARACTERÍSTICAS |
|-------------------|---|
| Raspberry Pi A+ | 700 MHz, 512MB de RAM, 1 puerto USB, no puerto ethernet, no tiene bluetooth |
| Raspberry Pi B+ | 700 MHz, 512 MB de RAM, 4 puertos USB, si puerto ethernet, no tiene bluetooth |
| Raspberry Pi 3 B | 1200MHz, 1GB de memoria RAM, 4 puertos USB, si tiene puerto ethernet, si tiene bluetooth |
| Raspberry Pi 3 B+ | 1500MHz, 1GB de memoria RAM, 4 puertos USB, Gigabit Ethernet over USB 2.0, no tiene bluetooth |

Fuente: (Luis, 2018)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

2.6. Telemetría

De acuerdo con el trabajo de (Ruesca, 2016a, p. 1), la técnica automatizada de la telemetría permite realizar mediciones y compilar datos y realizar una transmisión inalámbrica, aunque en su origen se utilizó cables como medio de comunicación. El uso dado a esta técnica está en la vigilancia de plantas generadoras de energía, seguimientos a sistemas tripulados, vuelos espaciales entre otros.



Figura 22-2: Sistemas de telemetría

Fuente: (Ruesca, 2016)

Todo el sistema se basa en la comunicación entre un transductor como dispositivo de lectura de entrada de datos, el mismo que transforma las magnitudes físicas receptoras a señales eléctricas,

a través de un medio de comunicación se transmiten dichas señales hacia un centro de monitoreo donde se realiza el registro de los mismos. El uso de las nuevas tecnologías ha hecho de esta herramienta un analizador de observaciones meteorológicas al utilizar sistemas satelitales; por otro lado, en la medicina ha sido un avance grandioso pues se puede observar datos relevantes de un órgano en una cirugía. (Ruesca, 2016b, p. 2)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagrama de etapas del proyecto

El sistema de telemetría basa su proceso de funcionamiento en tres etapas, adquisición de datos, procesamiento y el monitoreo en la interfaz; mismas que se desarrollarán de acuerdo al siguiente diagrama de flujo

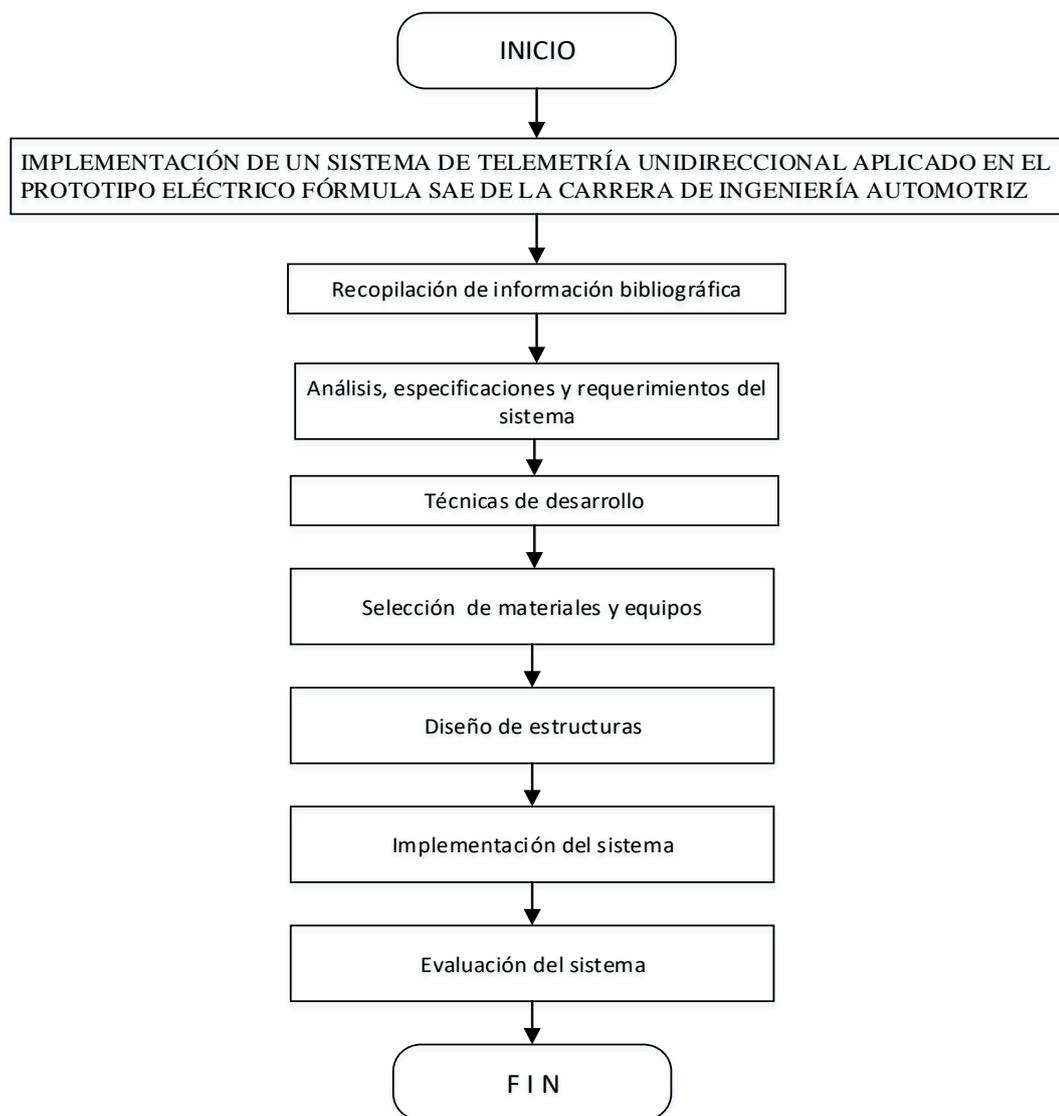


Gráfico 1-3: Diagrama de etapas del sistema

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.2. Metodología de investigación a realizar

En el presente ápice, se establecen los distintos tipos de metodologías de investigación que se utilizarán para la implementación del sistema de telemetría, los tipos de metodología se establecen en la tabla mostrada a continuación.

Tabla 1-3: Tipos de investigación

| TIPO DE INVESTIGACIÓN | TÉCNICA | HERRAMIENTAS |
|------------------------------|--|--|
| Bibliográfica | Compilación de documentos científicos, documentos técnicos. | Repositorios de universidades. Fichas técnicas Manuales y documentación de fórmula SAE |
| Aplicada | Estudio y análisis de datos obtenidos para desarrollar el sistema de acuerdo a los objetivos planteados | Diseños y pruebas de funcionamiento en escenarios reales. |
| Experimental | Combinación de teoría y práctica de elementos con las magnitudes de estudio. Diseño del sistema en general | Software y elementos electrónicos |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.2.1. Tipos de investigación

3.2.1.1. Investigación bibliográfica

Es la primera y fundamental característica del sistema de telemetría, caracterizándose en base a la recaudación de datos e información en documentos reales de soluciones que han sido implementadas en sistemas similares. Dichas fuentes son seleccionadas con información precisa para obtener un análisis real del sistema final implementado. En este caso sistema de telemetría en vehículos de competencias de Fórmula SAE.

3.2.1.2. Investigación aplicada

Con este tipo de investigación, lo que se desea es determinar las herramientas necesarias para que el sistema de telemetría para Formula SAE pueda tener un desarrollo de tipo científico mejorando la calidad de estos sistemas, la eficacia del prototipo y con la mano de innovación que ofrecen los distintos elementos tecnológicos. Todos funcionando en una pista como escenario.

3.2.1.3. Investigación experimental

El enfoque principal de este tipo de experimentación, se basará en el análisis de las variables de estudio con una codificación a través de los distintos elementos, realizando pruebas en escenarios reales dando como resultado el estudio histórico de las diferentes variables con las que se va a trabajar.

En este capítulo se detalla de manera específica el diseño e implementación tanto en *hardware* como *software* del sistema completo, para esto también se desarrolla todo el diseño en etapas seccionadas, al igual que todos los elementos que las conformaran, la selección de elementos con sus respectivas características, sus diagramas y esquemas de implementación.

3.3. Cronograma de actividades

El cronograma de actividades es una herramienta fundamental dentro del desarrollo del sistema de telemetría, el conjunto de actividades con un tiempo estimado de elaboración para cada una, obviamente los tiempos estimados podrían variar de acuerdo a aclaraciones pertinentes o modificaciones presentadas a último momento. Sin embargo, es una guía para desarrollar el sistema de manera ordenada y responsable.

Tabla 2-3: Cronograma de actividades

| ACTIVIDAD | TIEMPO ESTIMADO |
|---|------------------------|
| Recopilación de información | Semana 1 |
| Recopilación de información | Semana 2 |
| Selección de elementos y tecnologías a utilizar | Semana 3 |
| Búsqueda y compra de los elementos seleccionados | Semana 4 |
| Calibración de sensores y verificación de elementos comprados | Semana 5 |
| Pruebas de procesamiento y comunicación de datos a transmitir | Semana 6 |
| Implementación de placas del sistema realizadas en PCB | Semana 7 |
| Pruebas de sistema | Semana 8 |
| Creación de la interfaz gráfica para monitoreo | Semana 9 |
| Creación de la interfaz gráfica para monitoreo | Semana 10 |
| Verificación de datos reales leídos por los | Semana 11 |

| | |
|--|-----------|
| distintos sensores. | |
| Colocación del sistema en el vehículo | Semana 12 |
| Puesta en marcha al sistema en condiciones reales de carrera | Semana 13 |
| Pruebas en pista de carrera vehicular | Semana 14 |
| Finiquitar documento escrito con análisis de resultados | Semana 15 |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.4. Recursos y materiales

3.4.1. Materiales

Tabla 3-3: Materiales para realizar el sistema

| Material | Cantidad | Descripción |
|----------------------|----------|--|
| Arduino Nano | 5 | Tarjeta de desarrollo de tamaño compacto que permite la comunicación entre actuadores y sensores electrónicos. Se basa en un microcontrolador ATmega 328P |
| Módulos NRF1 | 5 | Módulo de comunicación inalámbrica, opera en la banda de los 2,4GHZ, con un consumo muy bajo de energía con la capacidad de durar varios años con una sola batería de alimentación. |
| Sensor de presión | 4 | Sensor diseñado para medir la variable presión tanto neumática como hidráulica, transforma la magnitud física en una señal de voltaje variable misma que indicará la presión en MPa (Pascal) |
| Pilas 18650 | 4 | Baterías de alimentación recargables, capaz de entregar una capacidad de 1600 a 3600 mAh, ideales para aplicaciones que requieren capacidad o alta durabilidad. |
| Impresión en 3D | 5 | Las tarjetas y varios elementos deben estar incorporados dentro de un chasis para ser protegidos del viento, polvo agua, etc. Mismas que se diseñadas por medio de software para su posterior impresión. |
| Arduino Mega | 1 | Tarjeta de desarrollo con un microcontrolador ATmega 2560, diseñado para amplias aplicaciones y siendo compatible con shields, mismas que dan un soporte más robusto a la tarjeta |
| Módulo GPS | 1 | Módulo diseñado para obtener la ubicación de un punto en tiempo real, tiene como cuerpo una placa PCB con una antena que proporciona la ubicación tanto la longitud como latitud. |
| Sensor LJ12A3-4-Z/BX | 1 | Sensor inductivo que es diseñado para obtener una señal cada vez que haya una fluctuación en l alineas de vista del mismo. |
| Módulo XBee | 2 | Modulo que tiene un tipo de comunicación inalámbrica, siendo capaces de realizar comunicaciones punto a punto o punto a multipunto. Utilizando el protocolo IEEE 802.15.4, mismas que pueden enviar un |

| | | |
|------------------------|---|---|
| | | alto tráfico de datos. |
| Placa PCB | 1 | Elemento que es necesario para crear una circuitería donde se fijen todos los dispositivos, posee una parte aislante y una conductora donde se realiza la impresión de pistas de conexiones. |
| Chasis para master | 1 | La tarjeta master necesita un chasis donde estar resguardado de entorno, para esto el chasis de protección de elementos de la placa master es realizada en una impresora 3D |
| Fuentes elevadoras | 4 | Las fuentes son muy comunes dentro de la circuitería, mismas que elevan o reducen el voltaje de acuerdo a la necesidad, en este caso las fuentes elevan el voltaje de entrada para dar la alimentación necesaria a ciertos elementos y que la fuente de poder no pueda otorgar. |
| Elementos electrónicos | 1 | Existen varios elementos que son necesarios para poder realizar una circuitería, entre ellos existen elementos activos y pasivos necesarios para llegar a implementar todo el sistema. |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.4.2. Equipos

Tabla 4-3: Equipos a utilizar en el sistema

| Equipo | Descripción |
|--------------|---|
| Impresora 3D | Espacio necesario para la impresión de todas las partes diseñadas. Utilización total de material en el objeto. Alta precisión al imprimir |
| Computadora | Sistema operativo de 64 bits SO Windows 10 Software de diseño en 3D LabView Lenguaje de programación para tarjetas |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.4.3. Recursos humanos

Tabla 5-3: Actividades del recurso humano

| Actividad | Tareas a realizar | Encargado |
|---------------|--|----------------------------------|
| Investigación | <ul style="list-style-type: none"> Revisión bibliográfica en distintas fuentes de información real. Profundizar conocimientos dentro de los sistemas de telemetría. Buscar herramientas óptimas para ser implementadas. | Andrés Valverde Juan Castillo |

| | | |
|----------------|---|---|
| Diseño | <ul style="list-style-type: none"> • Tener un esquema total del sistema a implementar. • Establecer un bosquejo de la ubicación de cada dispositivo a utilizar. • Diseño de módulos a utilizar • Diseño de estructuras de módulos y chasis de sensores. | Andrés Valverde Juan Castillo |
| Implementación | <ul style="list-style-type: none"> • Construcción de módulos a utilizar. • Colocar en la posición final cada elemento en el chasis del auto • Asegurar cada elemento en su posición final asegurándose en su estabilidad | Andrés Valverde Juan Castillo |
| Pruebas | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar el funcionamiento de la comunicación entre módulos. • Lectura real de magnitudes en estudio. • Verificar el correcto funcionamiento del sistema en escenarios. | Andrés Valverde Juan Castillo |
| Aprobación | <ul style="list-style-type: none"> • Revisión de avances del sistema. • Correcciones en los avances de la implementación del sistema • Revisión final al sistema final implementado • Revisión final al documento escrito del sistema. | Ing. Msc Celin Padilla Ing. Javier Gavilanes |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.4.4. Recursos económicos

Dentro de la implantación del sistema, es necesario tener los suficientes recursos para satisfacer toda la implementación del sistema en todas sus etapas, mediante la compra de elementos y materiales necesarios para el sistema de telemetría. Para lo cual se ha propuesto los costos en dos grupos, los directos e indirectos mismo que serán descritos a continuación.

Tabla 6-3: Costos directos del sistema

| ORDEN | CANTIDAD | DETALLE | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
|-------|----------|-----------------------------------|-----------------|-----------|
| 1 | 5 | Arduino Nano | \$7.00 | \$ 35.00 |
| 2 | 4 | Módulos NRF1 | \$7.00 | \$ 28.00 |
| 3 | 4 | Sensor de presión HK1100C | \$48.00 | \$ 192.00 |
| 4 | 4 | Pilas 18650 | \$8.00 | \$ 32.00 |
| 5 | 5 | Impresión en 3D | \$30.00 | \$ 120.00 |
| 6 | 1 | Arduino Mega | \$18.00 | \$ 18.00 |
| 7 | 1 | Módulo NRF1 | \$7.00 | \$ 7.00 |
| 8 | 1 | Módulo GPS | \$45.00 | \$ 45.00 |
| 9 | 1 | Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BX | \$25.00 | \$ 25.00 |
| 10 | 2 | Módulo XBee | \$65.00 | \$ 130.00 |
| 11 | 1 | Placa PCB | \$80.00 | \$ 80.00 |
| 12 | 1 | Chasis para master | \$45.00 | \$ 45.00 |
| 13 | 4 | Fuentes elevadoras | \$4.00 | \$ 16.00 |
| 14 | 1 | Elementos electrónicos | \$15.00 | \$ 15.00 |
| 15 | 1 | Receptor | \$15.00 | \$ 15.00 |
| 17 | 1 | Otros | \$15.00 | \$ 15.00 |
| | | | TOTAL | \$ 818.00 |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Tabla 7-3: Costos indirectos del sistema

| Descripción | Cantidad | Precio unitario | Precio final |
|--------------|----------|-----------------|--------------|
| Alimentación | 2 | \$60.00 | \$ 120.00 |
| Transporte | 2 | \$50.00 | \$ 100.00 |
| Impresiones | 1 | \$30.00 | \$ 30.00 |
| Copias | 1 | \$2.00 | \$ 2.00 |
| otros | 1 | \$70.00 | \$ 70.00 |
| | | | TOTAL |
| | | | \$ 322.00 |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Tabla 8-3: Costo total del sistema

| Descripción | Precio total |
|-------------------|----------------|
| Costos directos | \$ 818.00 |
| Costos indirectos | \$ 322.00 |
| TOTAL | \$ 1140 |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.5. Desarrollo del sistema

A partir del análisis hecho en el anterior capítulo, se puede enlistar algunos requerimientos que el sistema de telemetría debe tener en todo su funcionamiento. A continuación, se enlistan algunos requerimientos:

- Obtención de magnitudes necesarias de interés.
- Proporcionar al sistema la capacidad de procesar datos para su transmisión.
- Entablar una comunicación inalámbrica para la transmisión de datos tratados.
- Salvaguardar la conexión segura durante todo el recorrido del automóvil en el circuito.
- Mantener los distintos sensores en la posición adecuada sin que se desprendan de la misma durante las carreras.
- Debe estar en la capacidad de monitorear la velocidad, la presión en neumáticos, la carga de la batería, ubicación con GPS.
- Tener una interfaz maquina humano donde se podrá monitorear los datos.

3.6. Concepción general del sistema

En la Figura 1-3, se aprecia el esquema general del sistema de telemetría. Los sensores estarán situados en las distintas áreas para poder realizar el monitoreo, dichos sensores tendrán una comunicación directa inalámbrica por medio de módulos hacia una placa que será el centro de compilación de datos, para este caso se lo conocerá con el nombre de master. Toda esta sección estará fijada en la carrocería del vehículo. Por medio de una comunicación inalámbrica entre el master el mismo que trabaja como un transmisor y el centro de monitoreo o receptor en el cual se podrá observar en una interfaz puesta en el ordenador a través de una interfaz HMI realizada en LabView.

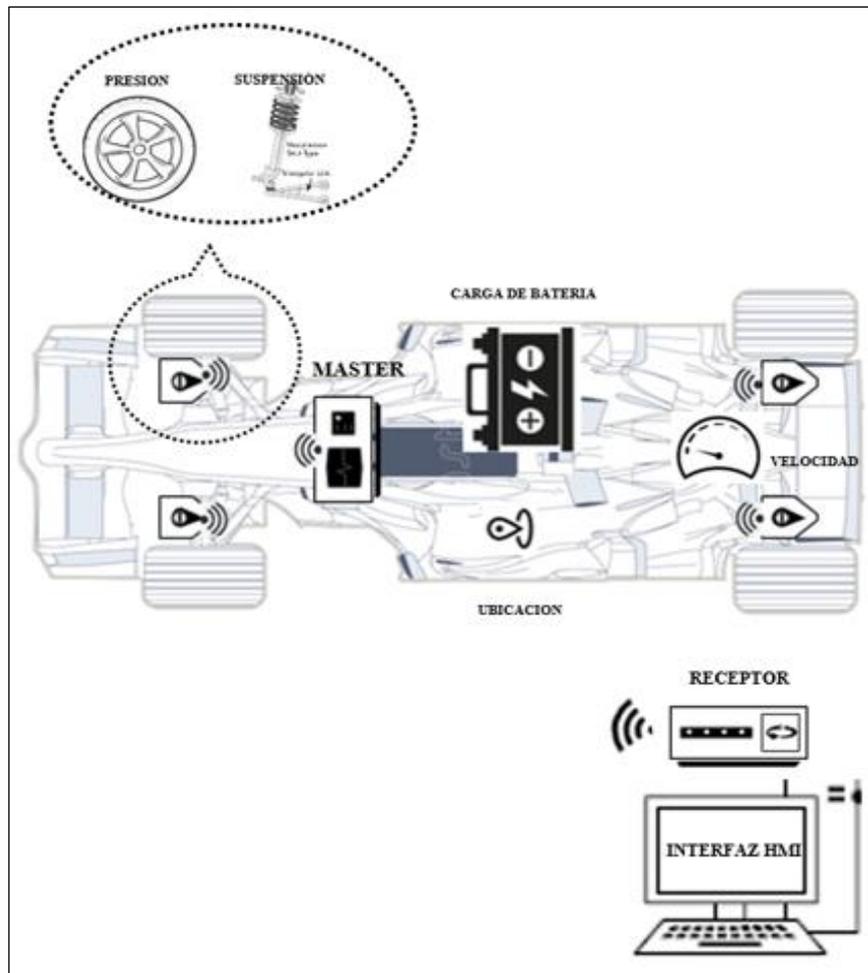


Figura 1-3: Esquema general del sistema de telemetría

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.7. Diseño de las etapas que conforman al sistema

Una vez que se tiene clara la concepción general del sistema, se procede a realizar una concepción de cada etapa que conformará al mismo, como se puede observar en la figura 2-3, las etapas que se manejarán serán tres, la adquisición de valores, procesamiento y transmisión de datos y el monitoreo en la interfaz HMI.

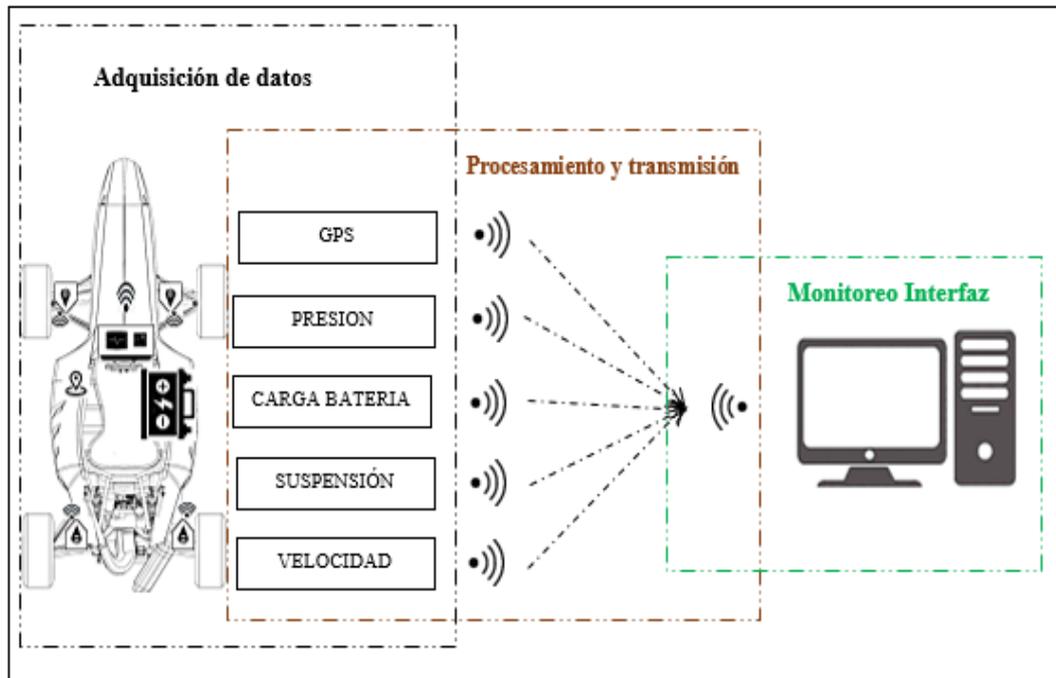


Figura 2-3: Esquema por bloques del sistema

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.7.1. *Etapa de adquisición de datos*

Esta etapa consiste en la medición de las variables de interés; los sensores de presión, suspensión, carga de batería velocidad y ubicación por GPS estarán colocados de manera que no interfieran en la mecánica del vehículo, cada módulo se conectará en el master que se encargará de recopilar todos los datos para su posterior tratamiento.

3.7.2. *Etapa de procesamiento y transmisión*

El módulo máster se encargará de recopilar todos los datos obtenidos por los sensores, se acondicionará estas señales y se las ordenará de manera adecuada para su posterior transmisión inalámbrica desde el módulo máster hacia el receptor que estará situado en el centro de monitoreo con la telemetría y la interfaz.

3.7.3. *Etapa de monitoreo en interfaz (telemetría)*

Una vez que el receptor haya recibido todos los datos del master, empezará a procesarlos de manera que por medio de una interfaz gráfica el usuario podrá ver el comportamiento de cada magnitud mientras el vehículo este en paro o en movimiento.

3.8. Descripción de los elementos a conformar el sistema

En la presente sección, se visualizará con detalle cada uno de los elementos en *hardware* que conformarán todas las etapas antes mencionadas, cabe recalcar que solo se darán a conocer los datos más relevantes y su respectiva hoja de datos de fabricante estarán enlistadas en anexos.

3.8.1. Arduino Mega

Arduino es una amplia gama de tarjetas de desarrollo basado en microcontroladores ATmega, de código abierto basado en lenguaje C, ha hecho que los dispositivos que se basan en esta tecnología sean fáciles de desarrollar de manera más óptima y sencilla., por la cantidad de elementos y módulos extras que se pueden acoplar Arduino mega es sin duda una de las tarjetas más completas de esta familia de tarjetas. (García, 2013a, p. 2) En la Tabla 9-3 se puede apreciar la información más relevante

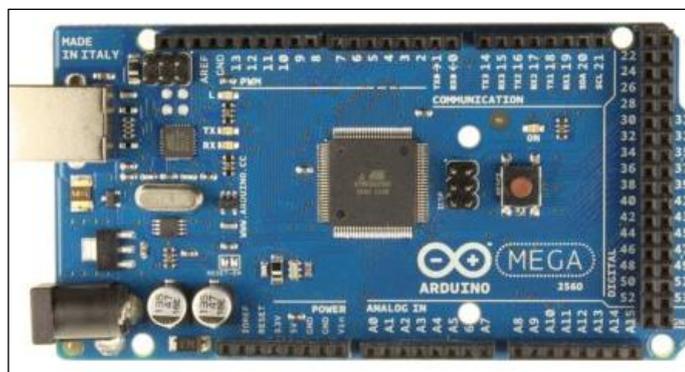


Figura 3-3: Arduino Mega

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Tabla 9-3: Características de Arduino Mega

| Descripción | Características |
|------------------------|-----------------|
| Microcontrolador | ATMega2560 |
| Voltaje | 5v |
| Pines digitales | 54 (15 son PWM) |
| Pines analógicos | 16 |
| Corriente por cada pin | 40mA |
| Memoria flash | 256KB |
| Velocidad | 16MHz |

Fuente: (García 2013)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.8.2. *Arduino nano*

Una tarjeta de desarrollo muy versátil por su tamaño es sin duda Arduino nano, a pesar de tener menor cantidad de pines que la tarjeta anterior mencionada, sus aplicaciones son diversas sin ningún tipo de impedimento, los códigos aplicados para esta placa son totalmente compatibles con respecto a la antes mencionada (García, 2013b, p. 1). Sus características se pueden observar en la Tabla 10-3.

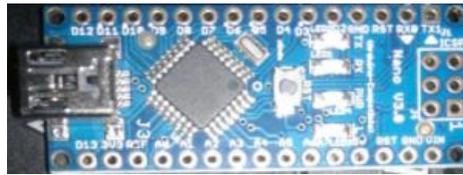


Figura 4-3: Arduino Nano

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Tabla 3-3: Características Arduino Nano

| Descripción | Características |
|------------------------|-----------------|
| Microcontrolador | ATMega328 |
| Voltaje | 5V |
| Pines digitales | 14 |
| Pines analógicos | 8 |
| Corriente por cada pin | 40mA |
| Memoria flash | 16KB |
| Velocidad | 16MHz |

Fuente: (García 2013)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.8.3. *Módulo NRF24L01*

El chip de comunicación NRF24L01, está diseñado para entablar una comunicación inalámbrica cuya función es la de actuar como un transceptor trabajando en una frecuencia en el rango de 2.4GHz a 2.5GHz. Incorpora una lógica para una comunicación más robusta independizando al

microcontrolador de ciertas tareas en la verificación de errores. (Llamas, 2016a, p. 1) Sus características se pueden observar en la Tabla 11-3.

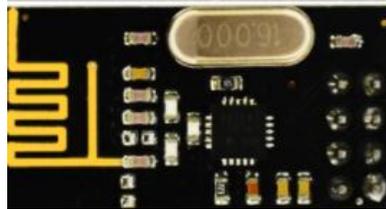


Figura 5-3: Módulo NRF24L01

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Tabla 4-3: Características del módulo NRF24L01

| Descripción | Características |
|------------------------|-----------------|
| Microcontrolador | ATMega328 |
| Voltaje | 5V |
| Pines digitales | 14 |
| Pines analógicos | 8 |
| Corriente por cada pin | 40mA |
| Memoria flash | 16KB |
| Velocidad | 16MHz |

Fuente: (Llamas 2016a)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.8.4. *Módulo Xbee S2*

El módulo de RF Xbee, tiene la principal función de intercambiar datos de manera inalámbrica bajo protocolos ZigBee que es uno de los protocolos del IEEE 802.15.4, se puede enlazar con dispositivos que sean diseñados por otros proveedores que posean la misma tecnología de comunicación. En una red de ZigBee entre varios módulos, todos podrán comunicarse de manera automática y remota entre ellos. (Components101, 2018, p. 2) Sus características se pueden observar en la Tabla 12-3.



Figura 6-3: Módulo Xbee

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Tabla 5-3: Características del módulo Xbee

| Descripción | Características |
|---------------------------|-----------------|
| Frecuencia de transmisión | 2.4 a 2.5GHz |
| Número de canales | 16 |
| Alcance | 1 milla |
| Velocidad de datos | 250000 bps |
| Rango de voltaje | 2,1-3,6V |
| Corriente | 33mA |

Fuente: (Components101 2018)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.8.5. Sensor de presión HK1100C

Este tipo de sensor mide la presión en aceite, agua, combustible o sistemas neumáticos, el sensor transforma la magnitud física de presión ejercida en una señal eléctrica que varía de forma lineal, su rango de trabajo está establecido entre 0,5V (0 Bar) y 4,5V (8 Bar). Su señal de salida se puede leer por medio de un puerto analógico de cualquier microcontrolador o tarjeta de desarrollo. (MORI, 2018, p. 1) Sus características se pueden observar en la Tabla 13-3.



Figura 7-3: Sensor de presión HK1100C

Tabla 6-3: Características del sensor de presión

| Descripción | Características |
|----------------------|-----------------|
| Rosca | G ¼ |
| Voltaje de trabajo | 5 V |
| Voltaje de salida | 0,5- 4,5 V |
| Corriente de trabajo | <10mA |
| Tiempo de respuesta | 2,0ms |
| Temperatura | 0 – 85°C |

Fuente: (MORI 2018)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.8.6. Módulo GPS NEO-6

Los módulos NEO-6 son receptores que pueden ser fácilmente conectados a microcontroladores porque poseen interfaces de comunicación como SPI, I2C, USB, UART. Poseen una exactitud de 2,5m con una orientación de 0,5° lo cual lo hace aceptable en un sistema de posicionamiento. Su conexión es sencilla posee solamente 4 pines entre alimentación y datos. (Llamas, 2016b, p. 1) Sus características se pueden observar en la Tabla 14-3.



Figura 8-3: Módulo GPS NEO-6

Fuente: (Llamas 2016b)

Tabla 7-3: Características de GPS NEO-6

| Descripción | Características |
|-------------------------|---------------------|
| Comunicación | I2C, SPI, UART, USB |
| Voltaje de trabajo | 2,7 – 3,6V |
| Voltaje de alimentación | 5V |
| Corriente de trabajo | 37mA |
| Frecuencia | 5Hz |
| Precisión | 2,5m |

Fuente:(Llamas 2016b)

3.8.7. Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BX

Es un sensor de proximidad que permite detectar un objeto de metal en un rango de 4mm, se acopla a distintos controladores, desde los más básicos como Pícs hasta los más robustos como los PLC, solamente se debe conectar su salida NPN a una entrada digital. Una bobina interna está alimentada generando un campo magnético, cuando un objeto metálico pasa frente al sensor genera una fluctuación en el campo lo cual genera una variación de energía lo cual se obtiene la activación o desactivación del sensor. (Naylamp, 2015, p. 1). Sus características se pueden observar en la Tabla 15-3.



Figura 9-3: Sensor de proximidad LJ12A3

Fuente: (Naylamp 2015)

Tabla 8-3: Especificaciones técnicas del sensor inductivo

| Descripción | Características |
|-------------------------|----------------------------|
| Voltaje de Operación | 6-36 VDC |
| Consumo corriente | 300mA |
| Conexión por 3 hilos | Vcc, GND, Salida |
| Tipo de salida | NPN |
| Frecuencia de respuesta | 100Hz |
| Materiales detectables | Hierro-Aleaciones de acero |

Fuente:(Naylamp 2015)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.8.8. Convertidor de voltaje MT3608

El convertidor elevador ofrece un voltaje de salida estable sin importar las variaciones que se puedan tener en la entrada. Su voltaje se mantendrá muy estable así tengan baterías menores a 2V. Este convertidor CC-CC tiene el objetivo de convertir energía eléctrica con la mayor eficiencia sin absolverla. Son usados en fuentes de hasta 28V de salida con voltajes de entrada menores a este valor. (Robots, 2019, p. 2)



Figura 10-3: Convertidor de voltaje MT3608

Fuente:(Robots 2019)

Tabla 9-3: Características del convertidor MT3608

| Descripción | Características |
|--------------------------|-----------------|
| Voltaje de entrada | 2-24 VDC |
| Voltaje de salida | 5-28V DC |
| Corriente de salida máx. | 2A |
| Potencia | 6W |
| Tipo de salida | NPN |
| Frecuencia de trabajo | 1,2MHz |
| Protección limitadora | 4 A |

Fuente:(Robots 2019)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.8.9. *Batería 18650*

Las baterías 18650, son un tipo de baterías de iones de litio recargables, de 3,7v de 1800mAh.con un tiempo de carga promedio a 4 horas; existen dos tipos de baterías las protegidas que contienen un circuito en la carcasa que la protege de sobrecargas y las sin protección que son menos costosas con la recomendación que debe ser monitoreada constantemente. Posee una capacidad para recargarse de 300 a 2000 veces. (Neverman, 2020, p. 1)

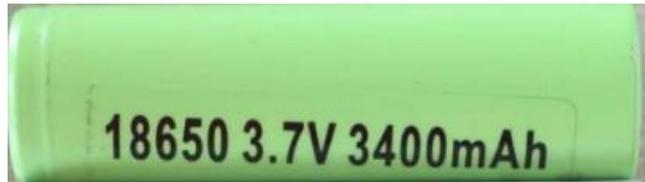


Figura 11-3: Batería 18650

Fuente:(Neverman 2020)

Tabla 10-3: Características de batería 18650

| Descripción | Características |
|----------------------|-----------------|
| Voltaje | 3,7V |
| Corriente | 3400mAh |
| Corriente almacenada | 2Ah hasta 3,5aH |
| Potencia | 10 -13 W |

Fuente: (Neverman 2020)

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.9. Esquema electrónico de conexiones

En la figura 12-3 se aprecia el diagrama electrónico que corresponde al sistema de telemetría, para la realización de este diagrama se utilizó el programa Proteus Profesional 8.8, como se puede observar está distribuido en un orden que a continuación se procederá a explicar cada uno de ellos.

- La fuente reguladora es la encargada de mantener un voltaje fijo de 5V para los distintos módulos y tarjetas seleccionadas.
- La presión de los neumáticos se verificará a través del módulo RF receptor, la ubicación a través del módulo GPS.
- En cada neumático estará colocado un circuito que monitoreará al sistema de suspensión del vehículo.
- El circuito sensor voltaje se encargará de mantener una señal constante de acuerdo a la carga de la batería, es un circuito encargado de proteger al microcontrolador.
- Una vez que se tenga todos los datos, el microcontrolador recibirá las señales y las transmitirá a través del módulo Xbee telemetría hacia el módulo receptor.

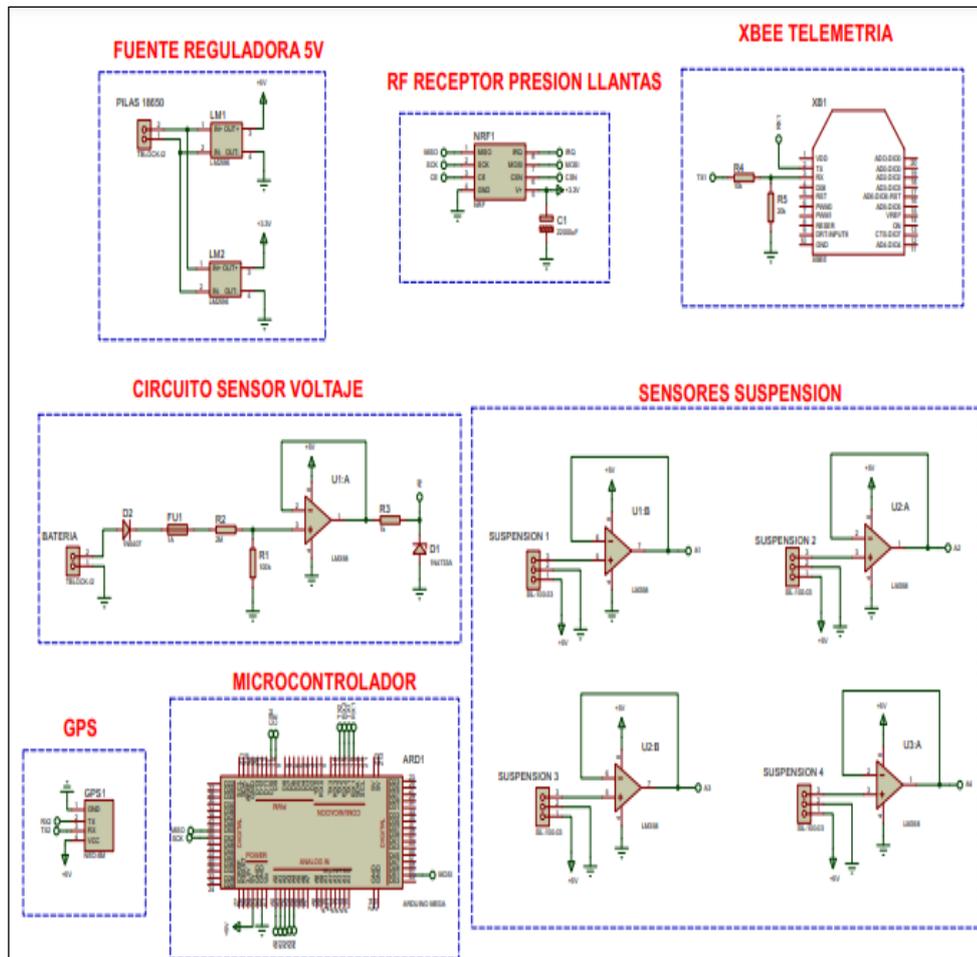


Figura 12-3: Diagrama electrónico del sistema de telemetría

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.10. Software de desarrollo

Para el proceso de la implementación del sistema de telemetría se utilizará un *software* de código abierto por la facilidad de encontrar información de manera gratuita y de fácil acceso a plataformas de guía o aprendizaje.

3.10.1. IDE de Arduino

Los entornos de desarrollo o IDE se han elaborado de tal manera que ofrecen todas las herramientas para una programación ágil en la escritura y carga de código en una placa de desarrollo. Arduino es una herramienta completa al tener incorporada la interfaz de código, un depurador de códigos, para este caso se utilizará la versión IDE de Arduino 1.8.13. (Arduino, 2021, p. 1)

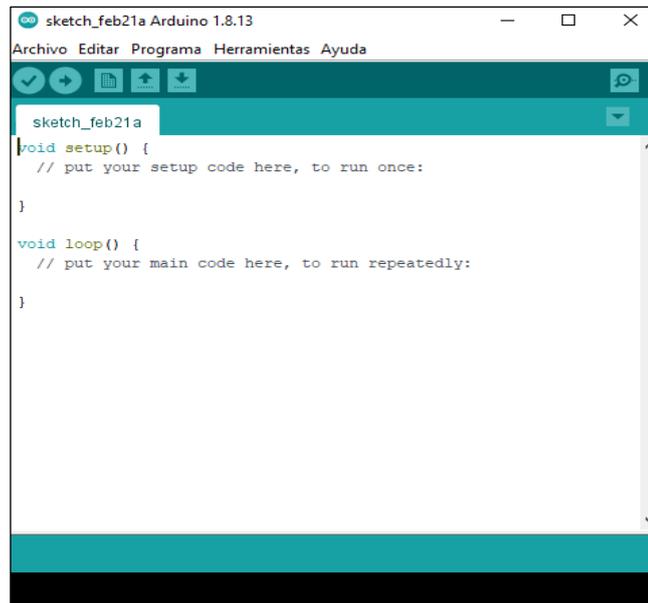


Figura 13-3: Entorno de programación IDE Arduino

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.10.2. Software LabView

En entrono de LabView, se basa en principios de ingeniería para aplicaciones de prueba y control con rápido acceso a *hardware* e interpretación directa de datos mediante una programación gráfica depurando datos de ingreso y salida. La visualización grafica llega a simplificar la igualdad en dispositivos externos de cualquier proveedor, diseñando sus algoritmos y realizando interfaces personalizadas complejas. (Instruments, 2021, p. 1)

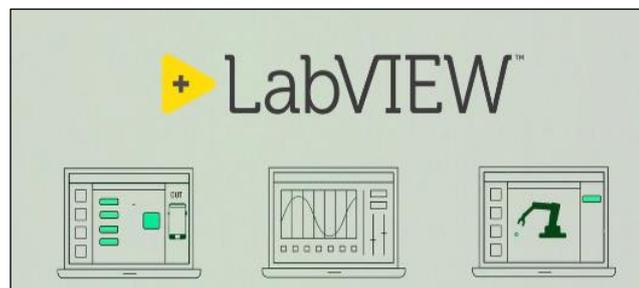


Figura 14-3: Software LabView

Fuente:(Instruments 2021)

3.11. Diagramas de flujo para el software del sistema

A continuación, se mostrará en un diagrama de flujo como estará conformado el funcionamiento del sistema del transmisor, mismo que estará en el vehículo en el módulo master.

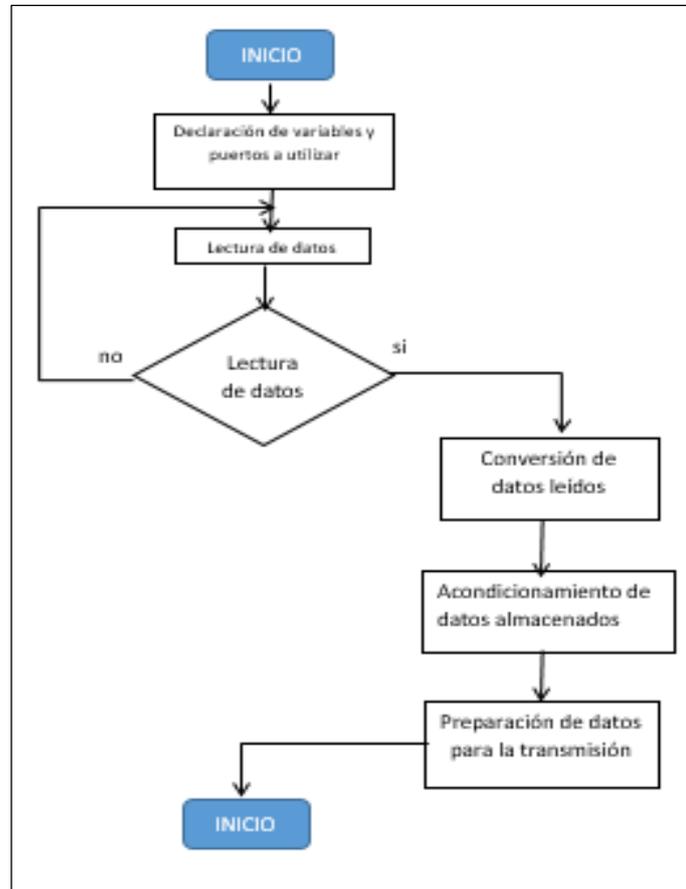


Gráfico 2-3: Diagrama de flujo en el módulo master

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Narración del algoritmo del gráfico 2-3

- Se declara las librerías necesarias para los distintos sensores utilizados al igual que las variables que se usaran durante la programación.
- La conversión de datos leídos a los distintos tipos de variables que se han declarado anteriormente.
- Sea acondicionarán estos datos para transformarlos a señales de magnitudes para su estudio.
- Los datos una vez que hayan pasado por su acondicionamiento se procede a alistarlos para una intercomunicación mediante los módulos inalámbricos expuesto en ápices anteriores.

El segundo diagrama de flujo se puede ver en el gráfico 3-3 representa como se podrá complementar el diseño del receptor que será parte de la telemetría en el equipo de monitoreo.

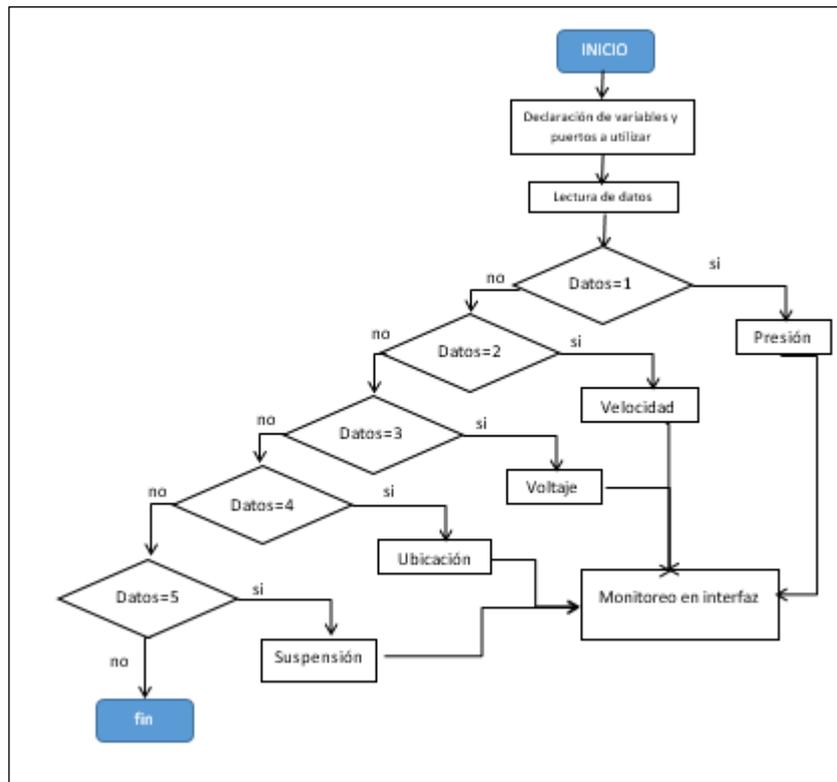


Gráfico 3-1: Diagrama de flujo en el receptor

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Narración del algoritmo del gráfico 3-3

- Se declara variables y definen librerías que serán indispensables para el funcionamiento correcto del programa, se declara ciertas variables de almacenamiento para cada una de las magnitudes medidas.
- La adquisición de datos se realiza de manera ordenada guardándolas en vectores con finalidad de ordenarlos mientras van ingresando al receptor.
- Se verifica que tipo de dato es el que ingresa y se procede a ordenarlo en su respectiva variable y vector.
- Después del almacenamiento de datos, se procede al acondicionamiento de datos para la visualización de los mismos en la interfaz realizada en LabView.
- Se realiza una interfaz HMI en LabView donde se podrá ir verificando cada una de las magnitudes tratadas en tiempo real desde el vehículo.

3.12. Diseño del sensor de detección de carga

Un circuito divisor de voltaje, consiste en compartir un diferencial de tensión de una fuente conectada a una cantidad n de impedancias. A partir de este circuito se puede obtener un voltaje fijo a la salida conocido como caída de voltaje (1). Para obtener un divisor de voltaje se debe tener en cuenta que necesariamente debe existir dos o más resistencias conectas en serie.

$$V_{RX} = \frac{V_f \text{ uente} * R_x}{R_t} \quad (1)$$

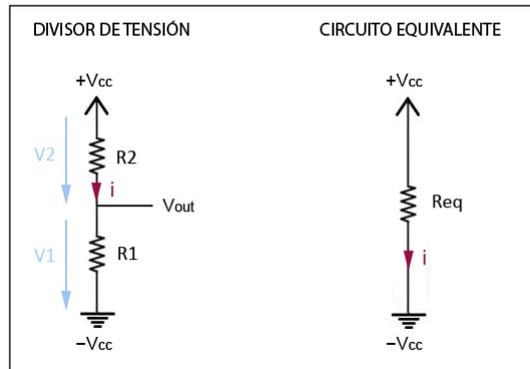


Figura 15-3: Circuito divisor de voltaje

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

| Anuncio: | | | RESULTADOS | | |
|-------------------------|---------|---------|------------|---------|---------------|
| DATOS DE ENTRADA | | | Req | 2100000 | Ohmios |
| +Vcc | 100 | Voltios | i | 0 | Milliamperios |
| -Vcc | 0 | Voltios | Vout | 4,76 | Voltios |
| R1 | 100000 | Ohmios | V1 | 4,76 | Voltios |
| R2 | 2000000 | Ohmios | V2 | 95,24 | Voltios |
| | | | P1 | 0,23 | Milliwatios |
| | | | P2 | 4,54 | Milliwatios |
| | | | P1+P2 | 4,76 | Milliwatios |

Figura 16-3: Resultados del divisor de voltaje

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.13. Diseño de bloque de carga para sensor de suspensión

Para la obtención de la magnitud suspensión, se procede a realizar un diseño llamada sensor de carga del eje. Es utilizado en vehículos que utilizan sistemas de suspensión por ballestas. Su principio de funcionamiento es el siguiente, el sensor varía su desplazamiento de carga resistiva mediante un movimiento vertical que realiza un bastidor en función al eje colocado en el chasis del vehículo. Esos datos que el sensor interpreta como cambios entre el cuerpo y el eje del

vehículo se puede interpretar como un ángulo de rotación que se interpreta a su salida como un rango de variación en voltaje. (Neaktiven, 2015)

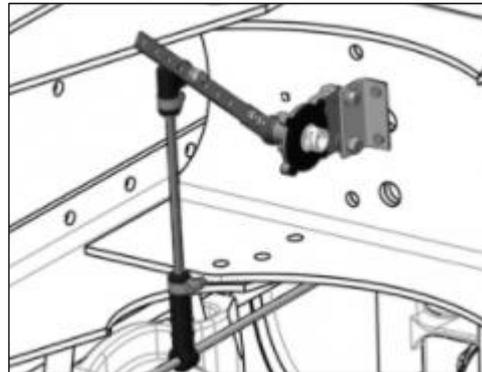


Figura 17-3: Sensor de carga por ballestas

Fuente:(Неактивен 2015)

Como es sabido, el automóvil de Fórmula SAE posee en su chasis un sistema de suspensión alineado a sus ejes una estructura mecánica en la que se puede implementar un sensor de carga utilizando una resistencia variable que permitirá conocer los ángulos que se perturben con el desplazamiento. Dicho sensor analógico estará colocado dentro de un chasis que se pueda acoplar perfectamente en la carrocería del vehículo. Un lado estará colocado en el chasis mientras que el otro en el eje, permitiendo de esta manera el giro parcial del potenciómetro lo cual se transforma en variaciones de tensión a su salida. (Неактивен, 2015)

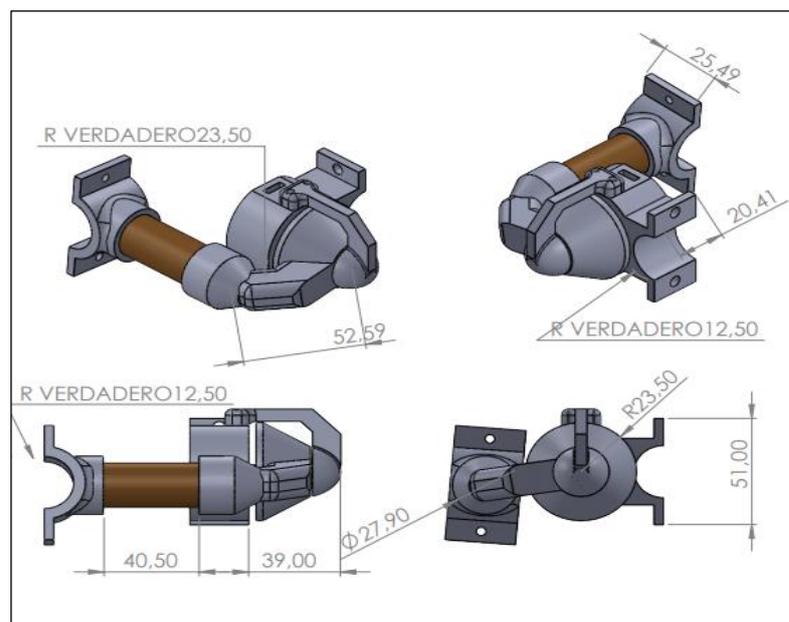


Figura 18-3: Diseño del sensor de carga de suspensión

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.14. Implementación física del sistema de telemetría

Para la implementación física del sistema se procede a realizar el ensamblaje de cada etapa. Para lo cual las etapas han sido divididas como se mostró anteriormente en la Figura 2-3. El software utilizado como se menciona es Proteus 8.8 para la circuitería electrónica, y para el diseño de las piezas en 3D se utilizará SolidWorks 2020. Todo el sistema estará conformado por 3 placas electrónicas, la primera que estará situada en cada neumático para medir la presión, La segunda es el master que receptorá todos los datos de los sensores y la tercera es el receptor que estará conectado al ordenador para el monitoreo total.

3.14.1. Placa para medir presión neumática

En la Figura 19-3, se puede observar el diseño de la placa PCB destinada para medición de presión neumática, dicha tarjeta será implementada 4 veces (una por cada neumático), y serán colocadas en el aro del neumático. De forma inalámbrica enviaran los datos de presión hacia la tarjeta máster.

3.14.1.1. Funcionamiento

La presión del neumático será medida por el sensor de presión HK1100C, misma señal que ingresará al pin analógico A0 de la tarjeta Arduino nano, una vez que son procesados los datos son enviados de manera inalámbrica por medio del módulo NRF24L01 hacia la tarjeta máster. La alimentación de este circuito será por una batería descrita en el inciso 3.5.9, pero como la tarjeta y todo el circuito funcionan a 5v se utiliza un conversor de tensión MT3608 para elevar el voltaje de la batería al voltaje de operación del circuito.

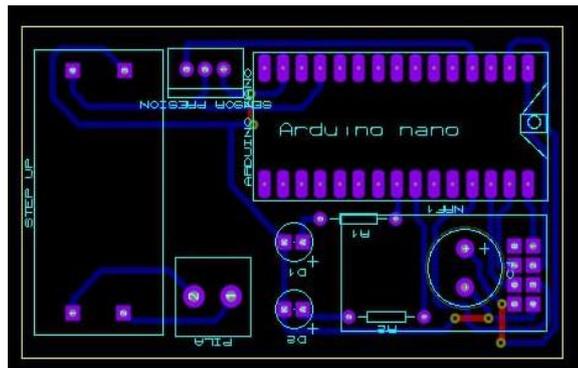


Figura 19-3: Diseño de PCB de primera tarjeta

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Una vez realizado el diseño en PCB se procede a visualizar al circuito en 3D para tener una idea más clara de cómo se verá implementada la tarjeta real. A continuación, la simulación en 3D de la primera tarjeta.

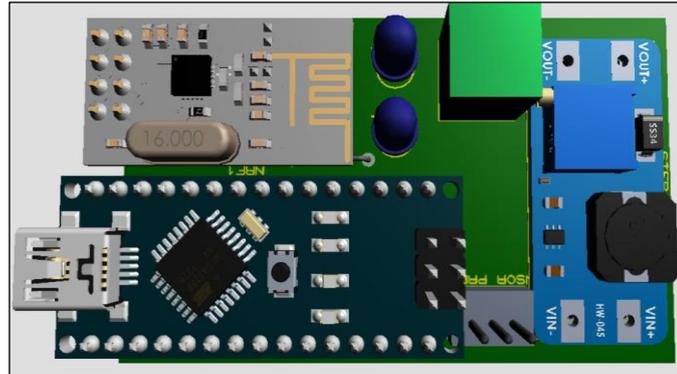


Figura 18-3: Vista en 3D de la primera placa

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Después de la visualización se procede a su implementación física, en su respectivo chasis para ser colocado en su posición de registro de datos. El chasis diseñado e impreso en 3D se coloca en los orificios libres que posee en aro del vehículo como se observa a continuación.



Figura 19-3: Placa de sensor de presión

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.14.2. Placa master

La placa master es la encargada de recibir todos los datos y procesarlos para una posterior comunicación inalámbrica hacia la interfaz de telemetría, en la Figura 22-3, se puede observar su diseño en donde se ven todos los circuitos que implementan a la tarjeta.

3.14.2.1 Funcionamiento

Al ser la placa principal de todo el sistema, ésta cuenta con varios circuitos que se detallarán a continuación:

- La tarjeta recibe la cantidad de RPM a través del sensor inductivo descrito en el inciso 3.5.7, la señal del sensor ingresa al pin digital 10. Esta señal será codificada para transformar los datos obtenidos a RPM.
- La presión de las llantas llega de manera inalámbrica a través del módulo NRF1, mismo que trabaja en conjunto a los módulos NRF1 transmisores de la primera placa. El módulo utiliza los pines de comunicación para MOSI, MISO, SCK, IRQ y CSN mismos que están distribuidos en la tarjeta de desarrollo del máster.
- La suspensión está determinada por el diseño descrito en el inciso 3.10, el cual será encargado de leer el ángulo de suspensión en cada neumático. Estos datos pasaran a una configuración de circuitería con Opams y posterior ingresan a los pines A1, A2, A3 y A4.
- El circuito sensor de voltaje se implementará de acuerdo al diseño explicado en el divisor de voltaje del inciso 3.9, mismo que luego pasa a un circuito que codifica la señal para que no afecte la operación de la tarjeta a través del pin A0.
- El GPS estará conectado directamente a la placa a través de los puertos RX1 y TX1.

- Una vez que los datos lleguen a la placa máster a través del módulo receptor NRF1, ingresan los datos a la codificación dentro de la tarjeta Arduino mega para su posterior envío de datos procesados hacia la placa receptora a través del módulo Xbee.
- La placa constará de dos fuentes reguladoras para obtener 3.3V y 5V voltajes de operación de los distintos elementos.

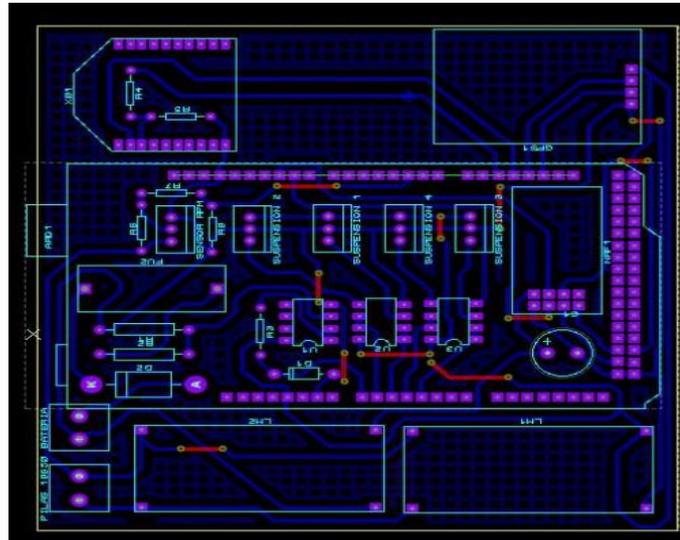


Figura 20-3: Placa master

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Después de realizar el diseño en PCB se procede a visualizar al circuito en 3D para tener una idea más clara de cómo se verá implementada la tarjeta real. A continuación, la simulación en 3D de la tarjeta master.

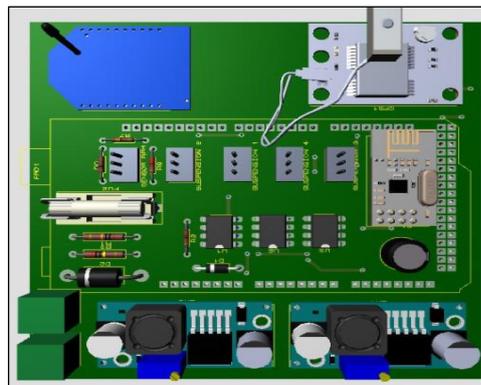


Figura 21-3: Visualización tarjeta master

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Se procede a su implementación física, como se trata del master en este caso, se imprimirá el chasis para ser colocado en la parte posterior del asiento. A continuación, se puede observar la placa implementada de la tarjeta máster.

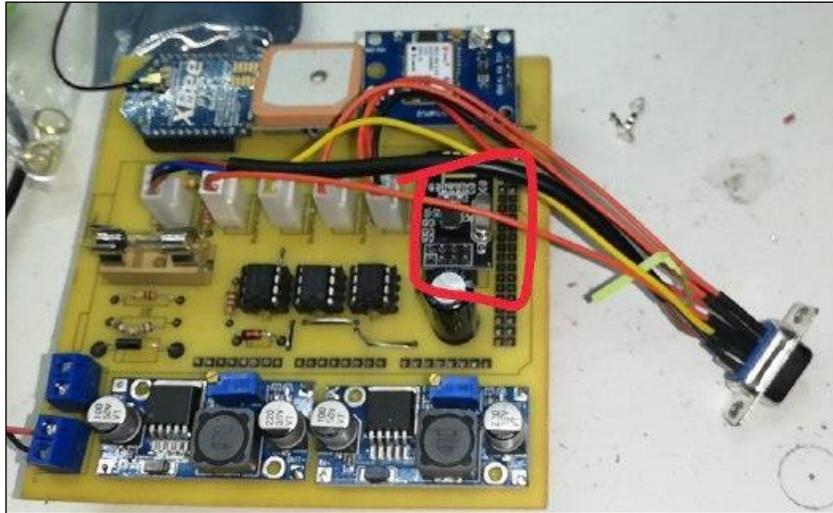


Figura 22-3: Implementación de tarjeta master

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

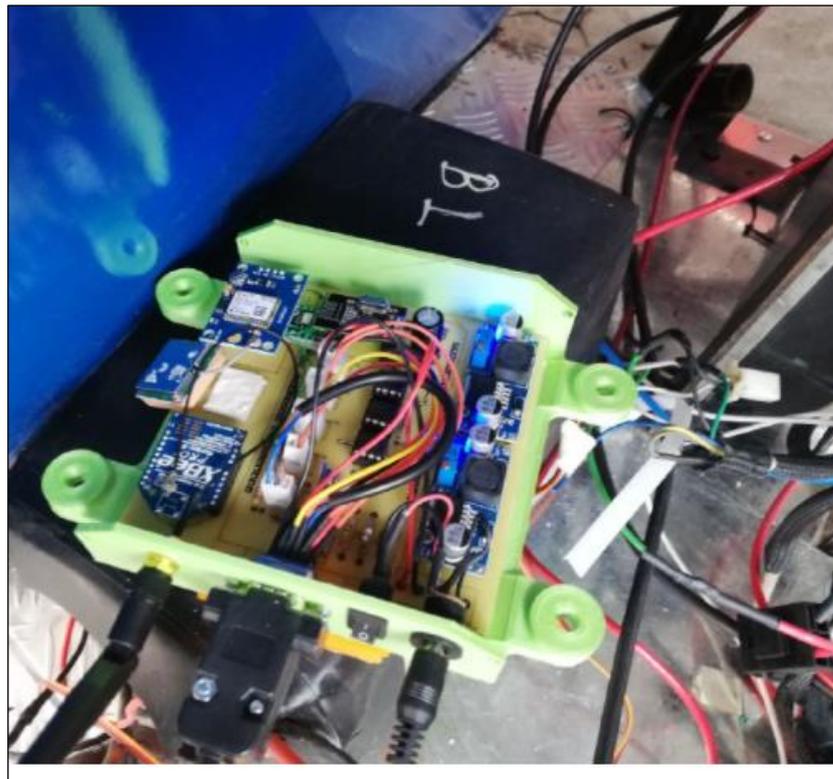


Figura 23-3: Colocación de la placa master

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.14.3. Placa receptora de datos

La placa receptora de datos es la encargada de recoger todos los datos enviada por el módulo máster. Este módulo receptor utiliza una comunicación Xbee, procesa los datos recibidos codificándolos y mediante una comunicación USB se procede a monitorear los diferentes datos en la interfaz realizada en LabView.

3.14.3.1. Funcionamiento

La tarjeta receptora de datos consta de una tarjeta Arduino nano que estará conectada directamente por cable USB al ordenador. Los datos mostrados llegan a través del módulo Xbee con una comunicación directa a la tarjeta Arduino a través de RX y TX. La tarjeta tendrá una alimentación por baterías y una fuente elevadora que otorgará el voltaje necesario de trabajo. La placa tiene unos leds indicadores que se encenderán siempre y cuando haya comunicación.

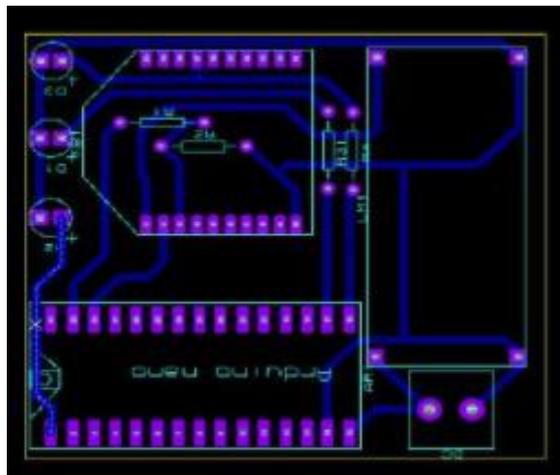


Figura 24-3: Placa receptora de datos

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Realizado el diseño de la placa PCB, se procede a implementar la placa con sus respectivos elementos en sus respectivos sitios, como se puede observar en la Figura 27-3.



Figura 25-3: Tarjeta receptora de datos

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.14.3.2. Calibración de la comunicación por Xbee

Una vez que se haya realizado el montaje de los elementos respectivos, se procede a verificar que los datos que ingresan a la tarjeta máster puedan ser enviados a la tarjeta receptora por medio de la comunicación del Xbee. Para eso se utiliza el software de programación Digi XCTU, el cual permite la programación en estos módulos. En la Figura 28-3 se puede observar al módulo que es el coordinador encargado de recibir datos, mientras que en la Figura 29-3 se observa al módulo END DEVICE que trabaja como emisor de datos.

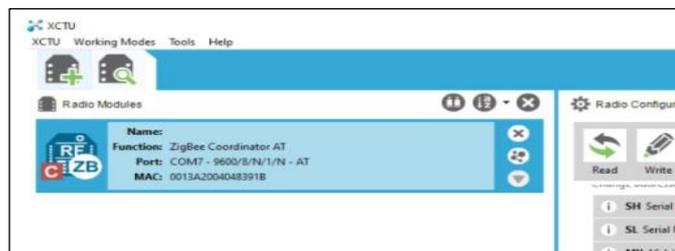


Figura 28-3: Configuración del módulo receptor de datos

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021



Figura 29-3: Configuración del módulo emisor de datos

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.14.4. Interfaz de usuario en LabView

La interfaz realizada en LabView tendrá como elementos a varios cuadros que mostrarán todos los datos recibidos por los sensores. Los elementos mostraran la presión de cada neumático, la deformación en la suspensión de los cuatro ejes del vehículo. Cabe resaltar que cada dato se enviará desde la tarjeta máster hacia la receptora por medio de una cabecera que ayudará a interpretar cual dato pertenece a cada sensor.

Al tratarse de varios datos se ha optado por separar a cada uno mediante una cabecera con las primeras letras del abecedario y cuando lleguen a la tarjeta receptora se separará e interpretará en LabView el dato correspondiente a cada uno.



Figura 26-3: Interfaz de telemetría en LabView

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

3.14.5. Base de datos

Como parte de un estudio a partir de los datos obtenidos con los distintos sensores, se ha realizado un almacenamiento de los mismos mediante una base de datos en la cual el usuario puede acceder a verificar los valores de las magnitudes en estudio a cualquier hora. Para esto la placa utilizará un datalogger que permitirá subir los distintos valores a la nube por internet, los valores también podrán ser descargados en un archivo.xlsx para su estudio en los resultados.

En la Figura 31-3 se puede observar como en la base de datos ingresan los distintos valores en el siguiente orden. Presión, suspensión, voltaje de batería, RPM, velocidad en KM/H y la ubicación del GPS.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|---------|-----|-----------|-----|
| 1 | PRESION 1 | PRESION 2 | PRESION 3 | PRESION 4 | SUSPENSION | SUSPENSION | SUSPENSION | SUSPENSION | BATERIA | RPM | VELOCIDAD | GPS |
| 2 | 73.462759 | 32.622711 | 45.6337 | 58.373626 | -7.816406 | 39.417969 | 12.213281 | 11.204687 | 66 | 406 | 33.672925 | 0 |
| 3 | 46.898657 | 42.200244 | 42.923077 | 70.300366 | 14.507812 | 0.351562 | -8.001562 | 2.064062 | 79 | 258 | 21.398066 | 0 |
| 4 | 79.155067 | 59.54823 | 53.946276 | 74.727717 | 46.054687 | 28.652344 | -16.523437 | -15.514063 | 64 | 150 | 12.440736 | 0 |
| 5 | 41.567766 | 40.302808 | 64.336996 | 40.212454 | 7.652344 | 38.671875 | -9.407812 | 7.910156 | 63 | 144 | 11.943107 | 0 |
| 6 | 78.612943 | 27.562882 | 51.777778 | 51.958486 | 10.289062 | 43.769531 | -10.814062 | -14.283594 | 67 | 305 | 25.296163 | 0 |
| 7 | 79.335775 | 70.842491 | 71.565324 | 30.905983 | 44.472656 | 17.578125 | -2.552344 | 17.005469 | 72 | 394 | 32.677667 | 0 |
| 8 | 39.851038 | 73.733822 | 72.920635 | 64.246642 | 41.835937 | 23.730469 | 17.310938 | -13.228906 | 70 | 49 | 4.063974 | 0 |
| 9 | 68.40293 | 37.140415 | 76.896215 | 50.783883 | 33.046875 | 29.882812 | -0.267187 | 4.525 | 62 | 100 | 8.293824 | 0 |
| 10 | 47.711844 | 45.814408 | 37.501832 | 65.330891 | 44.296875 | 5.625 | -6.503906 | 35.332031 | 75 | 260 | 21.563942 | 0 |
| 11 | 66.686203 | 29.098901 | 60.632479 | 49.699634 | 9.761719 | 18.105469 | 25.924219 | 9.492187 | 63 | 173 | 14.348316 | 0 |
| 12 | 36.327228 | 74.456654 | 70.210012 | 47.260073 | -12.738281 | 20.566406 | -34.804687 | -13.932031 | 78 | 381 | 31.599469 | 0 |
| 13 | 42.200244 | 41.748474 | 78.522589 | 73.733822 | 5.449219 | 18.851562 | -1.673437 | 3.867187 | 61 | 342 | 28.364878 | 0 |
| 14 | 34.700855 | 68.312576 | 42.10989 | 51.235653 | 17.050781 | 24.785156 | -14.589844 | 7.910156 | 66 | 133 | 11.030786 | 0 |
| 15 | 71.113553 | 52.590965 | 79.245421 | 68.493284 | 27.070312 | 0.351562 | 4.478906 | 2.415625 | 66 | 377 | 31.267716 | 0 |
| 16 | 79.697192 | 80.148962 | 50.603175 | 43.736264 | 1.148437 | 2.460937 | 21.353906 | 43.242187 | 71 | 370 | 30.687149 | 0 |
| 17 | 66.866911 | 49.970696 | 67.499389 | 42.832723 | -10.980469 | 5.316406 | -9.667969 | 50.273437 | 73 | 478 | 39.644479 | 0 |
| 18 | 75.90232 | 28.827839 | 41.206349 | 28.376068 | -13.089844 | 0.351562 | -31.640625 | 34.277344 | 68 | 403 | 33.424111 | 0 |
| 19 | 72.37851 | 52.681319 | 33.164835 | 47.440781 | 26.015625 | 9.535156 | -22.148437 | 26.894531 | 60 | 281 | 23.305645 | 0 |
| 20 | 33.345543 | 68.673993 | 80.239316 | 34.249084 | 36.210937 | 21.09375 | -14.589844 | 8.613281 | 75 | 452 | 37.488084 | 0 |
| 21 | 80.871795 | 62.529915 | 71.655678 | 41.929182 | 33.925781 | 48.867187 | -1.757812 | 47.285156 | 76 | 137 | 11.362539 | 0 |
| 22 | 59.638584 | 77.438339 | 70.39072 | 39.489621 | 3.164062 | 24.476562 | 28.209375 | 20.872656 | 72 | 124 | 10.284342 | 0 |

Figura 27-3: Base de datos

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Instalación del sistema de telemetría

Todo el sistema consta de una etapa principal que compete netamente a la parte de telemetría con la tarjeta máster que estará colocada de manera sistemática en la parte posterior del vehículo. Se implementará la conexión electrónica, colocación de sensores y demás componentes.

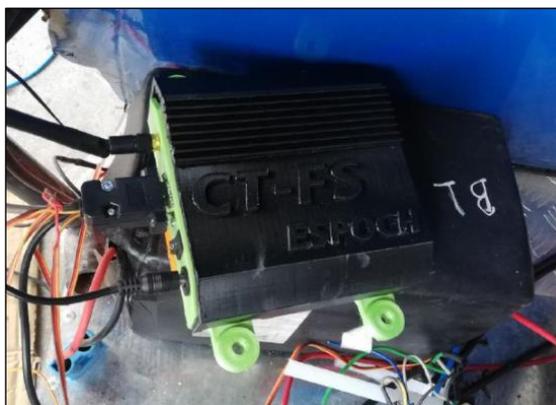


Figura 1-4: Implementación del módulo máster

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.1. *Instalación general del sistema*

El sistema de telemetría deberá ser sujeto a las distintas partes destinadas para cada toma de datos con los sensores, mismos que se sujetaran al chasis del vehículo de manera óptima con los diseños en 3D mencionados con anterioridad. Todas las impresiones en 3D se distribuirán por todo el auto de acuerdo a la magnitud a sensar.

4.1.1.1. *Suspensión*

El auto deberá ser censado en sus cuatro suspensiones. Para esto se fijará el diseño descrito en el inciso 3.10 en cada tubo que compone al sistema de suspensión. En la Figura 2-4 se puede observar la fijación del sensor de carga. Mismo que captará el comportamiento de la suspensión mientras el auto se mueva en la pista, enviando datos por el cable hacia la placa máster. En la

Figura 3-4 se puede observar el diagrama de conexión del módulo de suspensión conectado al master.



Figura 2-4: Fijación del sensor de suspensión

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

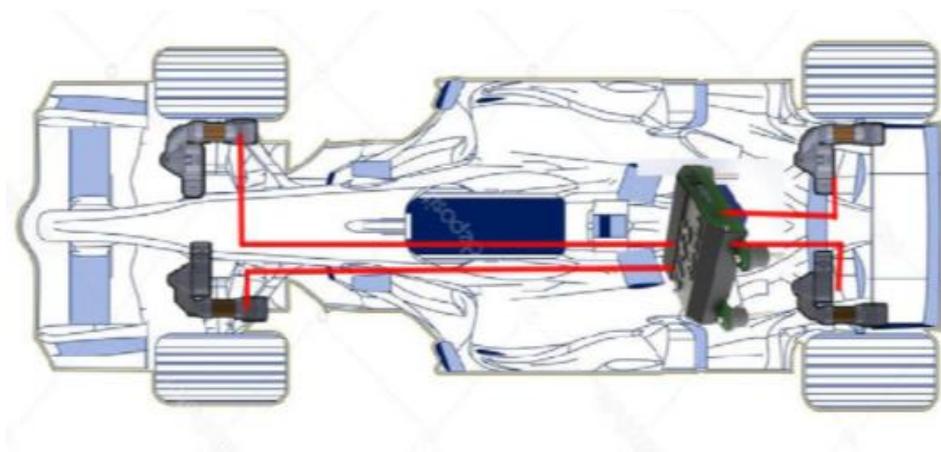


Figura 3-4: Diagrama de conexión de los módulos de suspensión hacia el máster

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.1.2. Velocidad

Para obtener la magnitud velocidad es necesario instalar el sensor inductivo detallado en el inciso 3.5.7, para que el sensor pueda dar una lectura de las vueltas se procede a colocar un imán en la transmisión de la cadena del motor eléctrico para que al girar cambie el campo magnético del sensor y se pueda registrar la lectura. En la Figura 5-4 se puede observar el diagrama de conexión del módulo de suspensión conectado al master.



Figura 4-4: Fijación del sensor para la velocidad

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

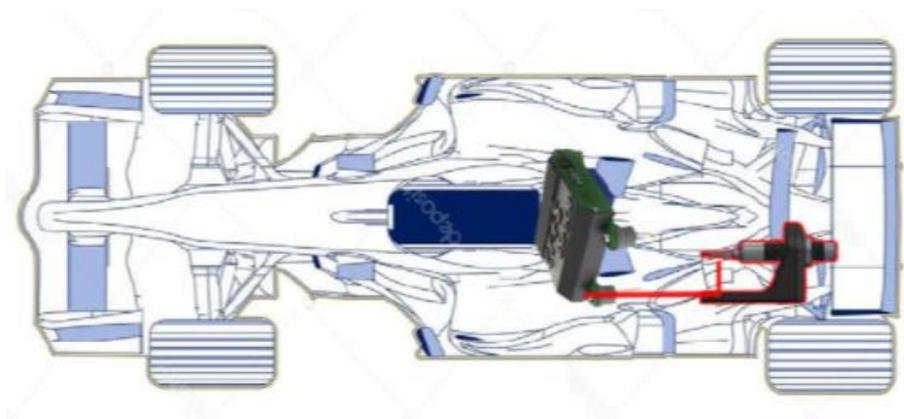


Figura 5-4: Diagrama de conexión del sensor de velocidad hacia el master

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.1.3. Presión

La magnitud presión está implementada en la primera tarjeta, misma que con el sensor de presión del inciso 3.5.5 se llega a obtener la presión en bares de cada neumático. La placa incorporada dentro de un chasis impreso en 3D se ajusta plenamente en el aro del neumático y por medio una tubería se tiene una conexión directa entre la válvula y el sensor. En la Figura 7-4 se puede observar el diagrama de conexión del módulo de suspensión conectado al master.



Figura 6-4: Fijación del sensor de presión

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

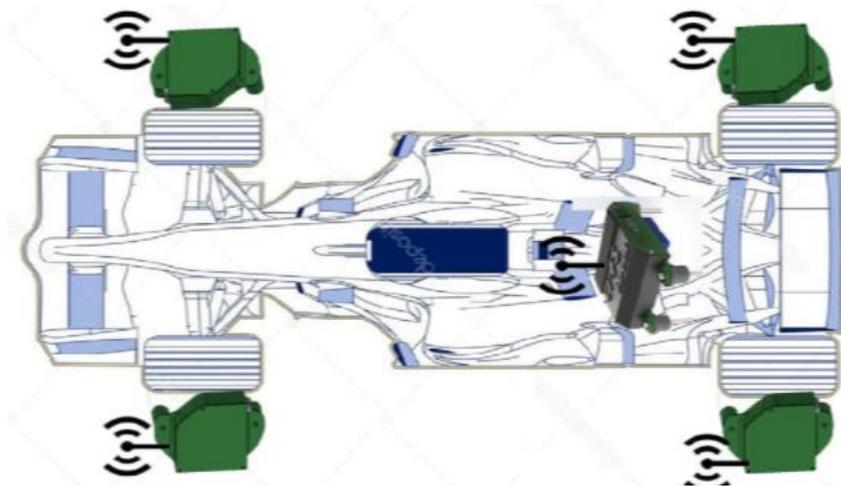


Figura 7-4: Diagrama de conexión sensores de presión hacia el master

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.1.4. Tarjeta máster

En la tarjeta máster estarán implementados los demás sensores como voltaje de la batería el cual irá conectados al máster por medio de cables hacia la alimentación del sistema y el circuito de ubicación GPS de la misma manera incorporado en la misma placa dentro del chasis, serían los últimos sensores implementados. En la Figura 9-4 se puede observar el diagrama de conexión del máster con todos sus sensores conectados.



Figura 8-4: Fijación de la tarjeta máster

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

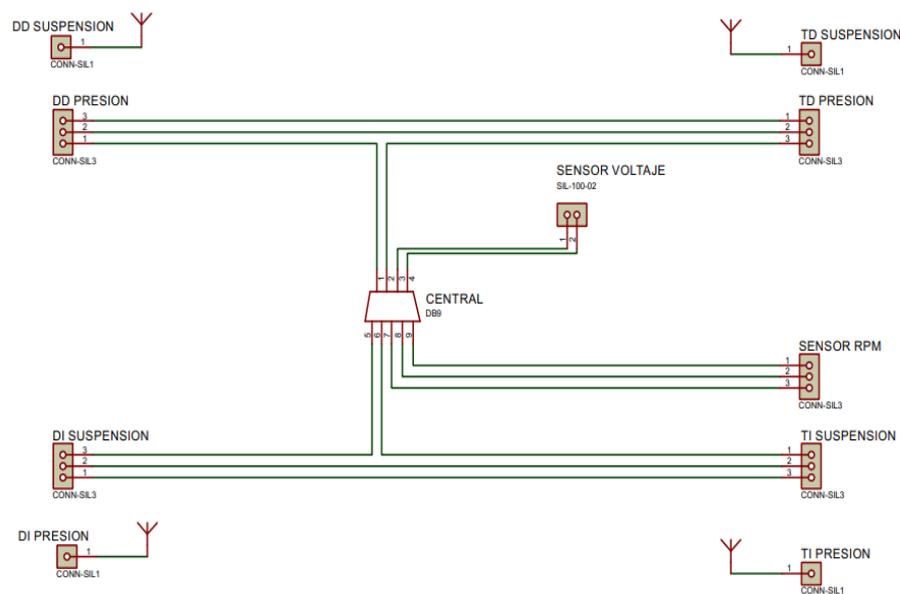


Figura 9-4: Diagrama general de conexión a la tarjeta master

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.1.5. Telemetría e interfaz

La telemetría incorporada en el sistema se podrá visualizar en la pantalla de un ordenador con LabView como se ha mencionado anteriormente, el ordenador estará conectado directamente a la placa receptora por medio de una comunicación USB. Y la interfaz mostrará los valores de magnitudes medidas inmediatamente.

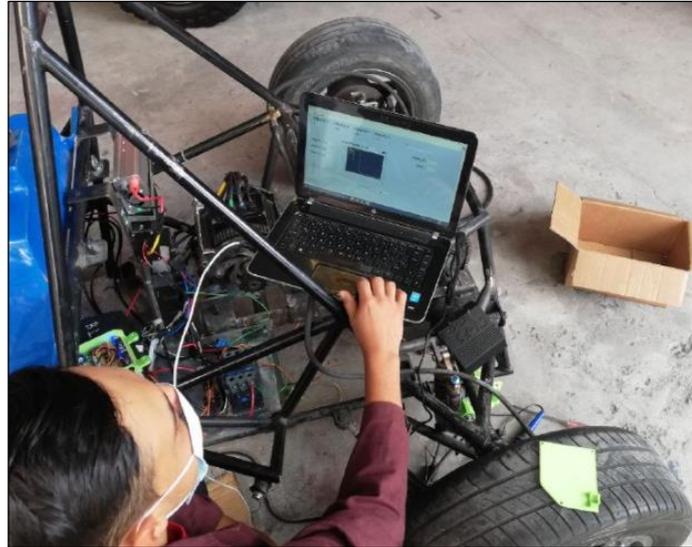


Figura 10-4: Implementación del sistema de telemetría

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

La interfaz gráfica en LabView se puede observar en la Figura 11-4, la cual consta de cuadros donde se sitúan todas las magnitudes. En la parte superior izquierda está la presión donde se puede ver los valores de cada neumático, en el centro el valor de las revoluciones por minuto y el valor de la batería, la ubicación por GPS a la derecha, mientras que en la parte inferior izquierda al sistema de suspensión.

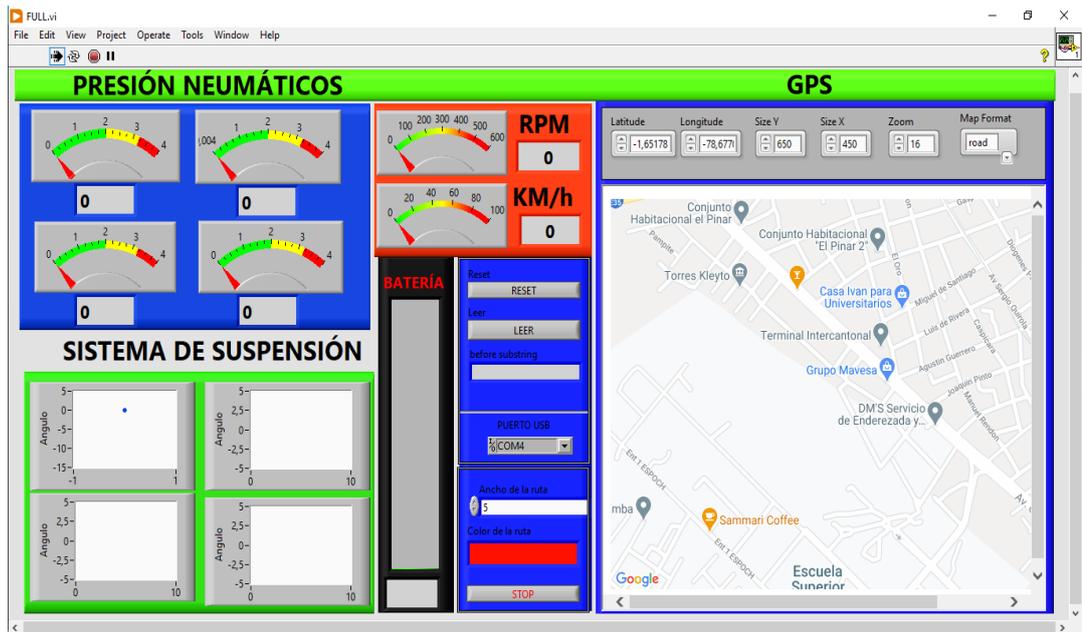


Figura 11-4: Interfaz gráfica de la telemetría

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.2. Obtención y análisis de resultados

4.1.2.1. Comunicación

La comunicación inalámbrica desde el máster hasta el receptor debe ser clara y concisa, de esta manera el master tiene una cabecera para separar cada valor leído y así enviarlo hacia el receptor mediante las tarjetas Xbee. En la Figura 12-4, se puede observar los datos que ingresan al receptor.

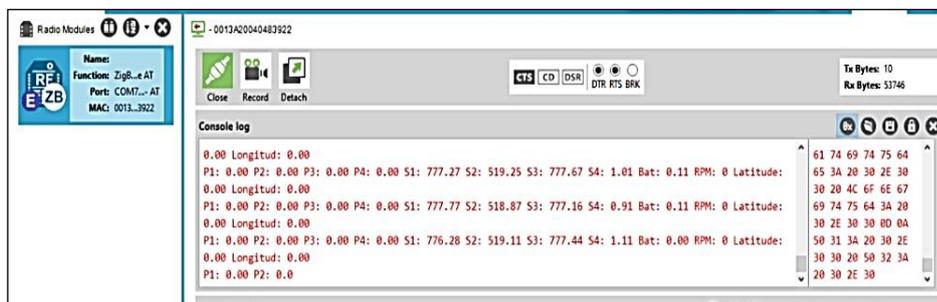


Figura 12-4: Comunicación entre tarjetas

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

La cabecera de cada magnitud empieza con una letra del abecedario y al máster envía los datos como si se tratara de una trama, el receptor decodifica esta trama y muestra los datos llegados quitándole la cabecera. Como se puede observar en la Figura 13-4, siendo la presión los datos

que primero en llegar, seguidos por la suspensión, batería, RPM y la ubicación de GPS con datos de latitud y longitud.

```

0.00 Longitud: 0.00
P1: 0.00 P2: 0.00 P3: 0.00 P4: 0.00 S1: 777.27 S2: 519.25 S3: 777.67 S4: 1.01 Bat: 0.11 RPM: 0 Latitude:
0.00 Longitud: 0.00
P1: 0.00 P2: 0.00 P3: 0.00 P4: 0.00 S1: 777.77 S2: 518.87 S3: 777.16 S4: 0.91 Bat: 0.11 RPM: 0 Latitude:
0.00 Longitud: 0.00
P1: 0.00 P2: 0.00 P3: 0.00 P4: 0.00 S1: 776.28 S2: 519.11 S3: 777.44 S4: 1.11 Bat: 0.00 RPM: 0 Latitude:
0.00 Longitud: 0.00

```

Figura 13-4: Datos llegados al receptor

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.2.2. Velocidad

La velocidad en la telemetría será representada en revoluciones por minuto, indicando la cantidad de vueltas completas en un minuto. La representación gráfica en la interfaz está en RPM; con 100 muestras en tiempos y aceleraciones distintas se ha llegado a tener la siguiente tabla.

Tabla 1-4: Valores de velocidad del sistema de telemetría

| Muestra | RPM | Velocidad KM/H |
|---------|------|----------------|
| 1 | 1170 | 48.49 |
| 2 | 1638 | 67.89 |
| 3 | 1872 | 77.59 |
| 4 | 468 | 19.40 |
| 5 | 1950 | 80.82 |
| 6 | 1872 | 77.59 |
| 7 | 936 | 38.80 |
| 8 | 234 | 9.70 |
| 9 | 938 | 38.88 |
| 10 | 2106 | 87.29 |

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

Las velocidades mostradas en la Tabla 1-4, dan a conocer el comportamiento de aceleración de acuerdo a la señal del pedal. Dando como resultado una velocidad máxima de 2106 RPM, misma que representa unos 87KM/H. Las velocidades oscilan entre 9 a 80 KM/H

4.1.2.3. Presión

La presión neumática en cada llanta, se mide directamente desde la válvula hasta el sensor de presión por medio de la tubería. Instalado en un chasis impreso en 3D, como se puede observar en la Figura 14-4



Figura 14-4: Implementación del sensor de presión

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

La presión en cada neumático se dará por el comportamiento de fabricación del sensor descrito en el inciso 3.5.5, donde se indicó que tiene un rango de operación de 0.5v a 4.5v mismo rango que es proporcional a la presión que ingresa siendo 0Mpa su mínimo valor y 0.5Mpa el máximo. En el gráfico 1-4 se puede observar su comportamiento se acuerdo a la señal de voltaje del sensor.

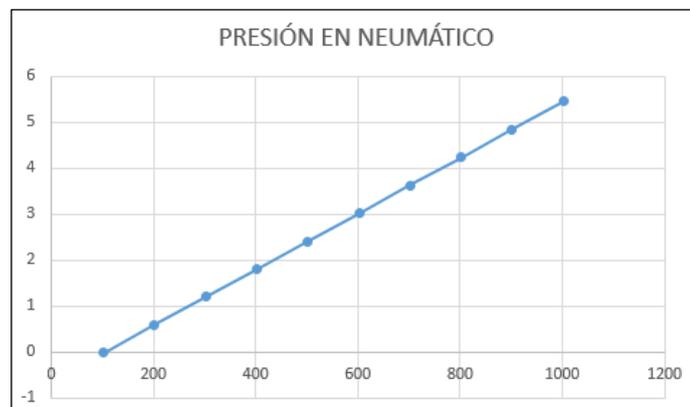


Gráfico 1-4: Valores de presión vs voltaje

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.2.4. Suspensión

La suspensión es una de las magnitudes tratadas en este sistema, con la finalidad que se le pueda dar al equipo de trabajo una adecuada estabilidad del chasis con respecto al suelo donde el vehículo se desplaza. En la Figura 15-4 se puede ver como se forma la gráfica de acuerdo al movimiento del chasis, cabe reaclacar que cada una de las graficas corresponde a cada sensor implementado.

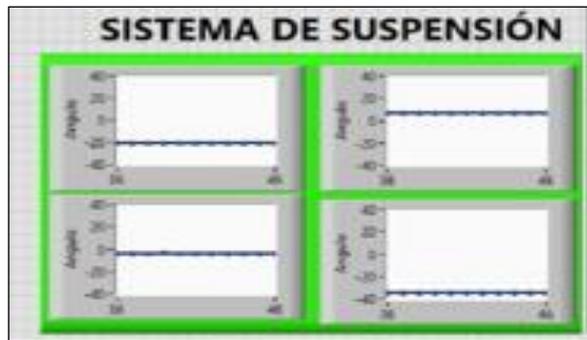


Figura 15-4: Gráficas trazadas por la suspensión del vehículo

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

En condiciones óptimas el vehículo muestra sus valores de suspensión entre 0 y 10 grados, siendo su valor más alto hasta 10 grados de deformación. Dichos valores de ángulos son muy parecidos entre sí, demostrándose de esta manera la estabilidad del vehículo y la confianza de los sensores al trabajar.

4.1.2.5. GPS

La función de GPS indica claramente la ubicación del vehículo en tiempos muy precisos, para este caso la ubicación basada en información satelital donde se pueden ver la latitud y longitud exactas. Se resalta que mientras más decimales se utilizan para este fin, mayor será el acierto real de la ubicación. Si no se usaran todos los decimales, la ubicación tendría un margen de error muy alto. En la Figura 16-4 se puede observar como el GPS da la ubicación real del vehículo misma que se podrá visualizar con claridad en la interfaz. Para que se pueda visualizar los datos de manera óptima es necesario que el vehículo se encuentre en un espacio libre, donde se puede visualizar la ubicación del vehículo mediante el puntero rojo y en la interfaz aparte de visualizar todos los datos de latitud y longitud. Demostrándose de esta manera que el sistema puede dar a conocer su ubicación al equipo de monitoreo.



Figura 16-4: Ubicación del GPS

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

4.1.2.6. Descarga de la batería

Para la visualización de este dato, es necesario la conexión directa de la batería hacia el circuito divisor de voltaje permitiendo una adecuada medición, lo único que se debe considerar es la polarización correcta con los terminales positivo y negativo.

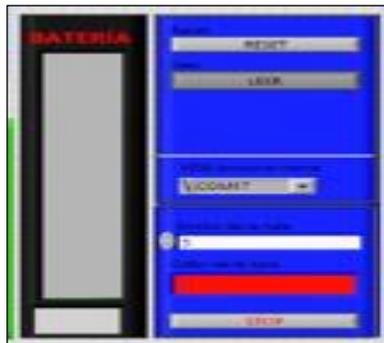


Figura 17-4: Indicador de voltaje de la batería

Realizado por: Castillo, J.; Valverde, C. 2021

La Figura 17-4, muestra como el indicador de carga está situado en una barra de monitoreo, señalando de forma real la carga que presenta la batería. Algo que tiene importancia dentro de este ápice, es mantener una carga que no baje de los 60 v nominales, ya que en realidad llega a dar un voltaje de 71 voltios.

4.2. Interpretación del sistema de telemetría

Las señales obtenidas por los sensores han sido codificadas de manera oportuna e interpretadas de manera satisfactoria, dando a conocer que el sistema puede dar a conocer todos los valores

reales de manera eficiente y segura. El archivo generado por parte del datalogger ofrece al usuario una interacción con los valores que pueden ser estudiados cuando se abra en un archivo Excel.

El presente proyecto de titulación tiene como finalidad la recepción de variables de estudio con anticipación, y es amigable con el usuario y el grupo de apoyo durante una carrera de Fórmula SAE, siendo el sistema competitivo con respecto al sistema utilizado en el prototipo implementado para carreras de SHELL-ECO MARATHON. (ARROYO, 2020)

El sistema ha sido diseñado con parámetros que son esenciales para los tipos de carreras, siendo las magnitudes diversas en cada vehículo de competencia. A pesar de las limitaciones en el tiempo de transmisión que posee el sistema, su diseño es bastante robusto y en las magnitudes medidas en comparación al sistema STMPVC-SAE, se puede verificar su validez en las mediciones reales con el vehículo en marcha. (Goncalves, 2014).

CONCLUSIONES

La telemetría se convierte en una herramienta fundamental en el monitoreo del estado y comportamiento del vehículo en competencia, y por medio de la visualización de las magnitudes se llega a determinar si existe un consumo anormal energético o si algún parámetro está fuera de su rango de operación óptima; mismas que pueda causar daños al sistema o se vea afectada la autonomía del vehículo.

La comunicación inalámbrica en el sistema, permite transmitir las magnitudes de los sensores instalados mediante tramas con cabeceras de identificación para cada una de las variables, mismas que se transmiten a distancias considerables con línea de vista, en donde el receptor será el encargado de descomponer las tramas a datos numéricos y que el usuario pueda entenderlas para una mejor comprensión.

Para la implementación del sistema se consideraron elementos y dispositivos de fácil acceso en el mercado nacional, evitando de esta manera la importación de los mismos y abaratando costos de la telemetría; y la ventaja que representa es que los elementos son de software y hardware libre lo cual hace incluso más amigable la programación de todo el sistema.

Con el sistema instalado en el automóvil de Fórmula SAE, se ha podido conocer de manera eficaz todas las magnitudes que se han establecido como interés de estudio, garantizando de esta manera que el sistema es estable y garantiza que los valores sean mostrados en el menor tiempo posible mientras dure una carrera.

El sistema de telemetría ha sido implementado utilizando herramientas de software libre, por la cantidad de suministros existentes en el mercado y por su amplia información en plataformas de manera gratuita, lo cual permite que este tipo de sistemas no sean tan costosos y accesibles para repuestos.

Los datos obtenidos por el sistema de telemetría son almacenados en un archivo de Excel en donde se encuentran todas las magnitudes en estudio del vehículo, desde aquí el usuario podrá interpretar el comportamiento y realizar estudios para toma de decisiones o solo para análisis si lo requiere

RECOMENDACIONES

Debido al voltaje que posee la batería, se debe tener precaución al momento de manipularla, se debe tomar en consideración todas las protecciones pertinentes para evitar cortocircuitos o accidentes con las líneas de energización del sistema.

Para conocer la ubicación del vehículo, es necesario que el mismo se encuentre en un espacio abierto con un cielo totalmente despejado para que el sensor GPS pueda conectarse rápidamente al satélite y de esta manera tener una respuesta inmediata a la ubicación.

Si se requiere un mayor alcance de transmisión de datos, se recomienda utilizar otro tipo de dispositivos de comunicación inalámbrica como es el caso de los módulos lora, mismos que al tener una arquitectura más robusta permite que su alcance sea mucho mayor.

Se recomienda no superar el valor de corriente nominal, para que las señales de sobre corriente no dañen al sistema o parte del cableado tanto de control como de energización.

El usuario debe tener en consideración que los conectores de las válvulas en los neumáticos deben estar correctamente conectados, para que evitar la fuga continua de aire e impedir que los neumáticos se queden desinflados.

Tener en cuenta que el vehículo estará en movimiento y continua vibración en la pista por tal motivo se deberá chequear que todo se encuentre ajustado correctamente para evitar que se desconecte algún sensor en el transcurso de la carrera.

Se podría implementar el sistema de telemetría con un sistema más robusto para su inmediato proceso de datos con una mayor eficacia en tiempo de respuesta.

GLOSARIO

Fórmula SAE: También conocida como Fórmula Student, es una competición automovilística entre estudiantes de universidades de todo el mundo que promueve la excelencia en ingeniería a través de una competición automovilística donde cada equipo universitario diseña y construye un vehículo monoplace con el que posteriormente compete.

Telemetría: Se conoce como telemetría al sistema que permite la monitorización, mediación y/o rastreamiento de magnitudes físicas o químicas a través de datos que son transferidos a una central de control.

Sensor: Es un dispositivo que transforma una cantidad física (temperatura, posición, intensidad de la luz, etc.) en una cantidad eléctrica (a menudo un voltaje) que luego puede integrarse en una cadena de procesamiento de señales.

Radiofrecuencia: Es una forma de comunicación inalámbrica entre un lector y un emisor, se puede comparar con un código de barras, aunque en lugar de marcas de tinta se utilizan ondas de radio.

Datalogger: Un registrador de datos (datalogger) es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente.

Transductor: Es un dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente de salida, pero de valores muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

Interfaz Gráfica: Software que permite la interacción con la máquina de manera gráfica, esto es con elementos como botones, ventanas, iconos o enlaces.

BIBLIOGRAFÍA

AUTOAVNANCE. *Tipos de sensores abs velocidad de ruedas.* [blog]. Colombia. 2015 [Consulta: 12 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/194-tipos-de-sensores-abs-velocidad-de-rueda/>

AWALT, Ashley. "Conceptos básicos del sensor efecto Hall". DIGI-KEY [en línea]. 2019. (Estados Unidos) [Consulta: 28 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.digikay.com/es/blog/hall-effect-sensor-basics>

AZZONE, "Qué es el wifi y como funciona para conectar todo a internet". AZZONE [en línea]. 2021. p. 1 [Consulta: 2 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>

COMPONENTS101. "XBee S2C - Módulo RF". [en línea]. 2018. p. 2 [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://components101.com/wireless/xbee-s2c-module-pinout-datasheet>

CORONADO, E. *Tutorial Xbee parte 1: ¿Qué es un Xbee y qué es necesario?* [blog], 2013. p. 1 [Consulta: 7 abril 2021]. Disponible en: <https://mecatronicauaslp.wordpress.com/2013/07/04/xbee-parte-1-que-es-un-xbee-y-que-es-necesario/>.

CHACÓN, Gerson. *Mecánica en acción.* Abara, [en línea]. 2013. Costa Rica. [Consulta: 6 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.mecanicaenaccion.com/sus-integrantes/>

GARCÍA, A., "Arduino Mega: Características, Capacidades y donde conseguirlo en Panamá". PANAMAHITEK. [en línea]. 2013. [Consulta: 12 enero 2021]. Disponible en: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>.

GARCÍA, R. "Todo lo que permite hacer Bluetooth, la tecnología que vive a sombra del WiFi". AZZONE [en línea]. 2020. p. 2 [Consulta: 18 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/bluetooth/>.

GÓMEZ, J. "Suspensión;definicion, tipos de suspensiones y principales elementos". DIARIOMOTOR [en línea]. 2020. p. 8 [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/tipos-esquemas-suspension/>.

GOMEZ SANZ, D. *Diseño de un sistema de telemetría para un monoplaza de Formula Student* [en línea]. Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de

Ingeniería Electrónica. Sevilla, 2015. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12303/fichero/pfcTipoETSI.pdf>.

GONCALVES, A., & MAROUN, A. Diseño de un sistema de telemetría para la monitorización de parámetros en los vehículos de competencias SAE [en línea]. Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería de Telecomunicaciones. 2014. p. 3 [Consulta: 21 febrero 2021]. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAT2040.pdf>

GUIMERANS, P. "¿Qué es un sensor? Tipos y diferencias". PrototipadoLAB [en línea]. 2018. p. 2 [Consulta: 12 enero 2021]. Disponible en: <http://paolaguimerans.com/openeart/2018/05/05/que-son-los-sensores/>

HEAKTIBEH. "Sensor de carga del eje (suspensión de la hoja)". GPSGURU. [en línea]. 2015. [Consulta: 7 abril 2021]. Disponible en: <https://gpsguru.org/topic67-sensor-de-carga-del-eje-suspension-de-la-hoja.html>.

INCIBE. *Las radiofrecuencias en los entornos industriales.* [blog], 2019. p. 1 [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.incibe-cert.es/blog/las-radiofrecuencias-los-entornos-industriales>

INSTRUMENTS. "¿Qué es LabVIEW?". Engineer Ambitiously [en línea], 2021. (Ecuador) [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>.

KZGUNEA. Geolocalización que es y como funciona. [en línea], 2018, p. 1 [Consulta: 26 febrero 2021]. Disponible en: <https://kzgunea.blog.euskadi.eus/blog/2017/03/31/geolocalizacion-que-es/>.

LLAMAS, L. "Comunicación inalámbrica a 2.4GHz con arduino y NRF24L01". [en línea], 2016 [Consulta: 7 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/comunicacion-inalambrica-a-2-4ghz-con-arduino-y-nrf24l01/>.

LLAMAS, L. Localización GPS con arduino y los módulos GPS NEO-6. [en línea]. 2016. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6/>.

LÓPEZ, N. "Cómo medir correctamente la presión de los neumáticos". Auto Bild. [en línea], 2018. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.autobild.es/practicos/como-medir-correctamente-presion-neumaticos-339117>.

LEÓN GARCÍA, Noelia. Diseño de la adaptación de la electrónica y motores para un vehículo

eléctrico de fórmula SAE [en línea]. Universidad de Alcalá, Escuela Politécnica Superior. 2015. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/23218/TFG_León_García_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

MOROCHO ARROYO, David Andrés. Sistema de telemetría aplicable en los prototipos de categoría gasolina participantes en la competencia Shell-Eco Marathon. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz. Riobamba – Ecuador. 2020. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13818/1/65T00341.pdf>

MTE THOMSON. "Sensor de velocidad VSS". [en línea]. 2019. [Consulta: 27 marzo 2021]. Disponible en: <https://mte-thomson.com/es/produktos/mte/sensor-de-velocidad/>.

NAYLAMP MECHATRONICS SAC. "Sensor de proximidad inductivo LJ12A3-4-Z/BX (NPN)". [en línea], 2015. (Peru) p. 1 [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: <https://www.naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/136-sensor-de-proximidad-inductivo-lj12a3-4-zbx-npn.html>.

NEVERMAN, A. "Todo lo que necesita saber sobre la batería 18650". [en línea]. 2020. p. 1 [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <https://commonsensehome.com/18650-battery/>.

ORDIALES, O. Arduino "Tipos de Placas". Aula de Robótica. [en línea]. 2017. pp. 1-2 [Consulta: 21 febrero 2021]. Disponible en: <http://roboticclassroom.blogspot.com/2017/04/arduino-tipos-de-placas.html>.

OSI. "Geolocalización: virtudes y riesgos". [en línea], 2016. (España) [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.osi.es/es/actualidad/blog/2016/09/20/geolocalizacion-virtudes-y-riesgos>.

PLAZA, D. "Todo lo que tienes que saber para comprobar el estado de la batería". motor.es [en línea]. 2020. (Murcia) [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.motor.es/noticias/comprobar-estado-bateria-del-coche-202067832.html>.

ROBOTS. "Convertidor de voltaje MT3608". Robots Didácticos [en línea]. 2019. p. 2 [Consulta: 25 marzo 2021]. Disponible en: <http://robots-argentina.com.ar/didactica/convertidor-de-voltaje-mt3608/>.

RODRIGUEZ, E. "De cero a maker: todo lo necesario para empezar con Raspberry Pi". [en línea], 2018. (Mexico) [Consulta: 17 febrero 2021]. Disponible en:

<https://www.xataka.com/makers/cero-maker-todo-necesario-para-empezar-raspberry-pi>

RUESCA, P. "Telemetría – Aplicaciones de medida a distancia". Radio Comunicaciones. [en línea]. 2016. p. 1 [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/telemetria/>.

SAE INTERNACIONAL. "Competencias para estudiantes". SAE EVENTOS [en línea]. 2021 [Consulta: 8 enero 2021]. Disponible en: <https://www.sae.org/attend/student-events/>.

SENSING. "Sensores de presión". Sensing [en línea]. 2019. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-presion/>.

SIMON, George. 2018. Implementación, control y monitoreo de un sistema de riego por goteo subterráneo con microcontroladores [en línea]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola. Lima – Perú. 2018. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3610/simon-mori-george-anthony.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

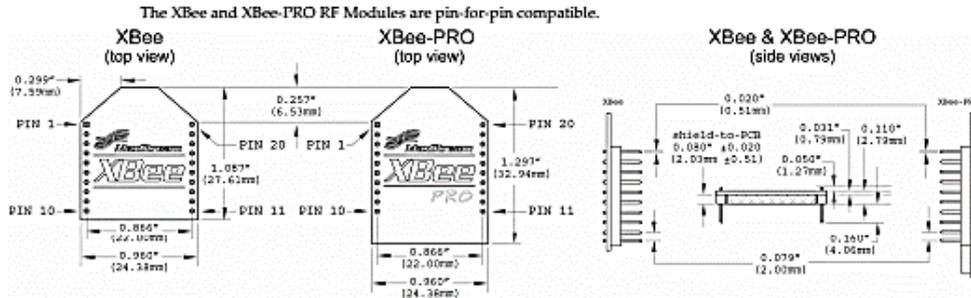
SOLÓRZANO, S., & GONZÁLEZ, L. "Reflexiones sobre los conceptos velocidad y rapidez de una partícula en física". Revista Mexicana de Física [en línea], 2010. (Venezuela) 56 (2) pp. 181–189 [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v56n2/v56n2a5.pdf>.

SPM, "Sensor de Velocidad características y funciones". SPM Solo para Mecánicos [en línea]. 2018. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: <https://soloparamecanicos.com/sensor-de-velocidad/>.

ZUÑIGA, Rebeca. "Instrumentos y aplicaciones de geolocalización". Maestros del Web [en línea], 2009. p. 2 [Consulta: 9 abril 2021]. Disponible en: <http://www.maestrosdelweb.com/instrumentos-y-aplicaciones-de-geolocalizacion/>.

ANEXOS

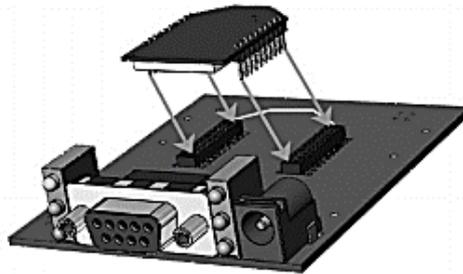
ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE TARJETA XBEE



Mounting Considerations

The XBee®/XBee-PRO® RF Module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee Development Kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules.

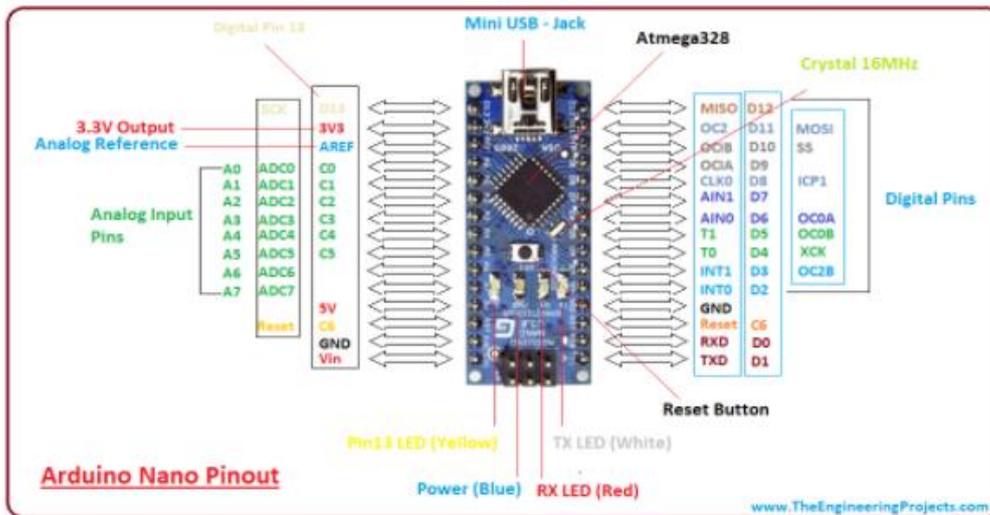
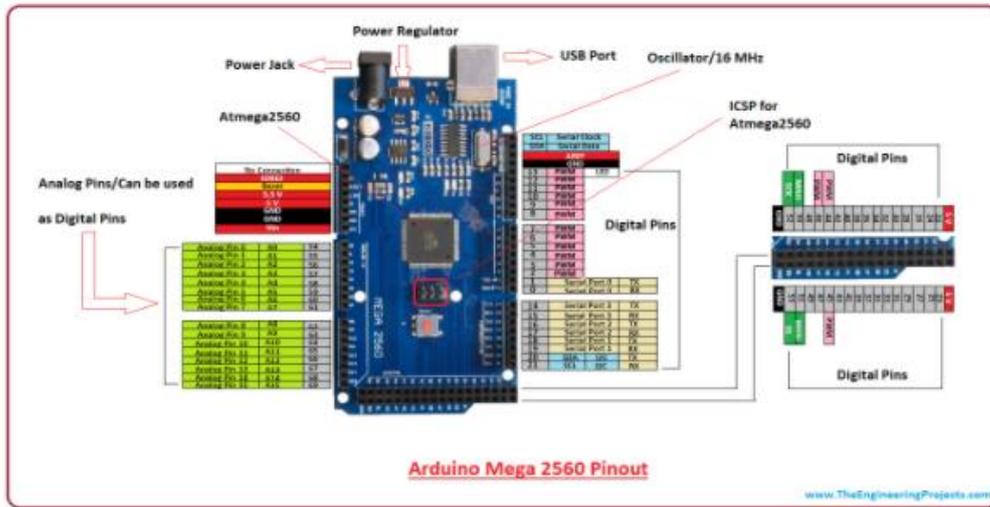
Figure 1-02. XBee Module Mounting to an RS-232 Interface Board.



The receptacles used on Digi development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, Digi currently uses the following receptacles:

- Through-hole single-row receptacles - Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Surface-mount double-row receptacles - Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles - Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

ANEXO B: FICHA TÉCNICA Y PINES DE TARJETAS ARDUINO



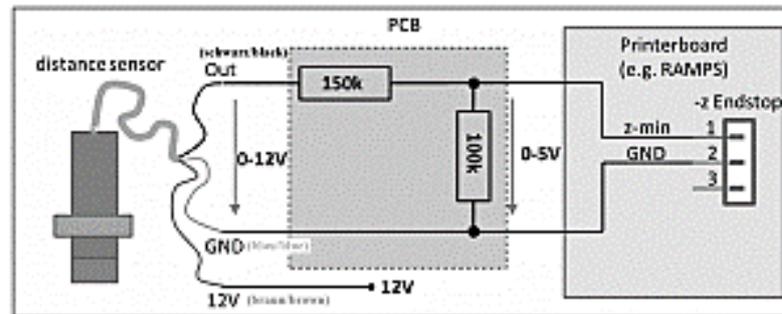
ANEXO C: FICHA TÉCNICA DEL SENSOR DE PRESIÓN



Características:

| | |
|-----------------------------|--|
| Solicitud | Medicion de liquidos no corrosivos (como agua, aceite, gasolina, diesel) Medicion de gases y aire |
| Lectura | Analogica |
| Tension de trabajo | DC 5.0V |
| Tension de salida | DC 0.5-4.5 V |
| Material del sensor | Aleacion de acero al carbono |
| Corriente de trabajo | ≤ 10 mA |
| Rango de presion de trabajo | 0-1.6 MPa (0 – 232.06PSI) |
| Presion maxima | 2.4 MPa |
| Destruccion de sensor | 3.0 MPa |
| Longitud del cable | 19cm |
| Rosca | G1/4 |
| Temperatura de trabajo | 0-85 °C |

ANEXO D: DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR INDUCTIVO



Especificaciones

- Voltaje de alimentación: 6 a 36 V
- Tipo de sensor: Inductivo
- Tipo de salida: NPN
- Diámetro de la cabeza: 12 mm
- Distancia de detección: 4 mm
- Corriente de salida: 300 mA
- Respuesta en frecuencia: 0.5 KHz
- Conexión por cable de 3 hilos
 - Marrón: +VCC
 - Negro: Salida (NPN)
 - Azul: GND
- Objetos de detección: Metálicos
- Distancia de la detección: 4 mm
- Detección de objetos: Conductor
- Estado del interruptor: Normalmente abierto
- Temperatura de operación: -25 °C a 55 °C
- Dimensiones: 6.2 cm X 2 cm
- Modelo: LJ12A3- 4-Z/BX

ANEXO E: FICHA TÉCNICA ANTENA GPS

SkyNav SKM58 Series Ultra High Sensitivity and Low Power The Smart Antenna GPS Module

SKYLAB
Simplify your systems

General Description

The SkyNav SKM58 Series with embedded GPS antenna enables high performance navigation in the most stringent applications and solid fix even in harsh GPS visibility environments.

It is based on the high performance features of the MediaTek 3329 single-chip architecture, its -165dBm tracking sensitivity extends positioning coverage into place like urban canyons and dense foliage environment where the GPS was not possible before. The 6-pin UART connector design is the easiest and convenient solution to be embedded in a portable device and receiver like PND, GPS mouse, car holder, personal locator, speed camera detector and vehicle locator.

Applications

- LBS (Location Based Service)
- Vehicle navigation system
- PND (Portable Navigation Device)
- GPS mouse and Bluetooth GPS receiver
- Timing application



Figure 1: SKM58 Top View

Features

- Ultra high sensitivity: -165dBm
- 22 tracking/66 acquisition-channel receiver
- WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN support
- AGPS support
- NMEA protocols (default speed: 9600bps)
- One serial port
- Embedded patch antenna $12 \times 12 \times 4$ mm
- Operating temperature range: -40 to 85°C
- RoHS compliant (Lead-free)
- Tiny form factor : $20.5\text{mm} \times 12.8\text{mm} \times 7.8\text{mm}$

Pin Assignment

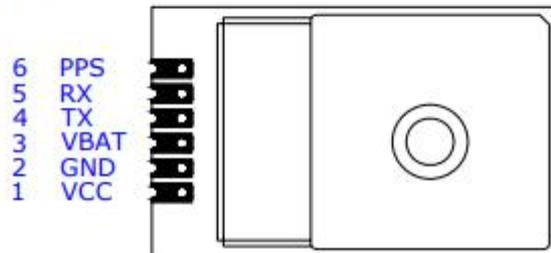


Figure 2: SKM58 Pin Package

ANEXO F: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

//Declaremos los pines CE y el CSN
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10

//Variable con la dirección del canal que se va a leer
byte direccion[5] ={'c','a','n','a','l'};
float S1,S2,S3,S4,pot;
//creamos el objeto radio (NRF24L01)

RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

//vector para los datos recibidos
float datos[3];
float Llantas1,Llantas2,Llantas3,Llantas4;
float Susp1,Susp2,Susp3,Susp4;
float vol,bat;

void setup()
{
  //inicializamos el NRF24L01
  radio.begin();
  //inicializamos el puerto serie
  Serial.begin(9600);

  pinMode(2, INPUT);
}

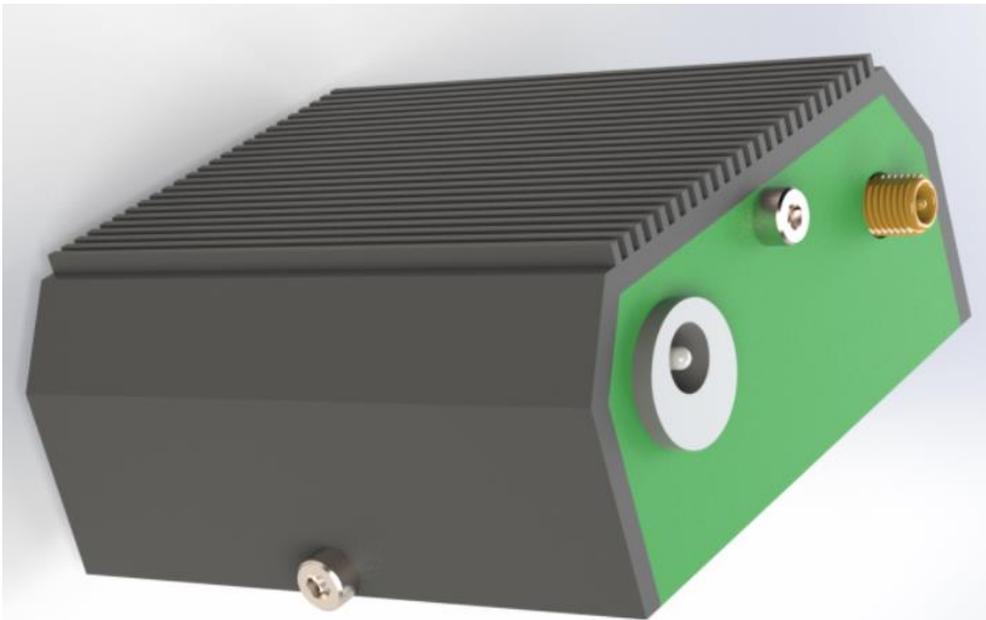
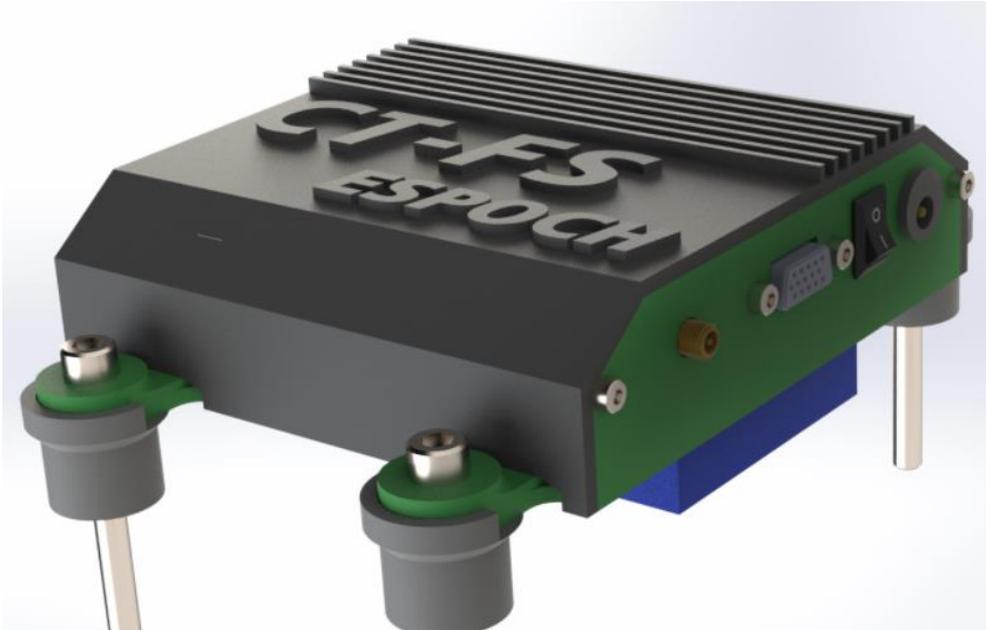
#include <TinyGPS.h>
//long lat,lon; // create variable for latitude and longitude object
float lat,lon;
TinyGPS gps; // create gps object

void setup(){
  Serial.begin(9600); // connect serial
  Serial1.begin(9600); // connect gps sensor
}

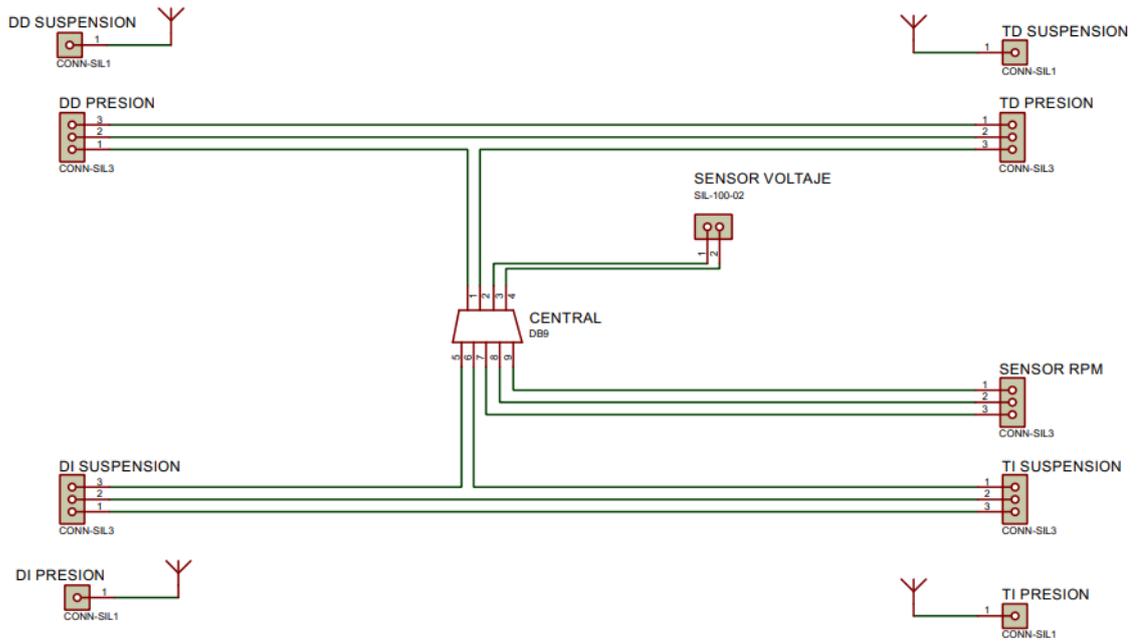
void loop(){
  while(Serial1.available())
  {
    Serial.write(Serial1.read());
    if(gps.encode(Serial1.read()))// encode gps data
    {
      gps.f_get_position(&lat,&lon); // get latitude and longitude
      Serial.print("Position: ");
      Serial.print("Latitude: ");
      Serial.print(lat,6);
      Serial.print(",");

      //Longitude
      Serial.print("Longitude: ");
      Serial.println(lon,6);
    }
  }
}
```

ANEXO G: VISTA 3D DEL MÓDULO MÁSTER



ANEXO H: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIÓN



**ANEXO I: MANUAL DE USUARIO DE TELEMETRÍA DEL PROTOTIPO ELÉCTRICO
FÓRMULA SAE**

MANUAL DE USUARIO

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA
UNIDIRECCIONAL APLICADO EN EL PROTOTIPO ELÉCTRICO
FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**



**JUAN CARLOS CASTILLO ZHINGRE
CARLOS ANDRÉS VALVERDE JIMÉNEZ**

ACERCA DE ESTE MANUAL

Es importante que Ud. como usuario se tome el tiempo de leer este manual de usuario, para el sistema de telemetría para el vehículo de Fórmula SAE. Tenga en cuenta que entre mayor sea su conocimiento acerca de este sistema, mayor será la seguridad de manipularlo y conocerá todas las herramientas que tiene el vehículo al conducirlo.

PELIGRO

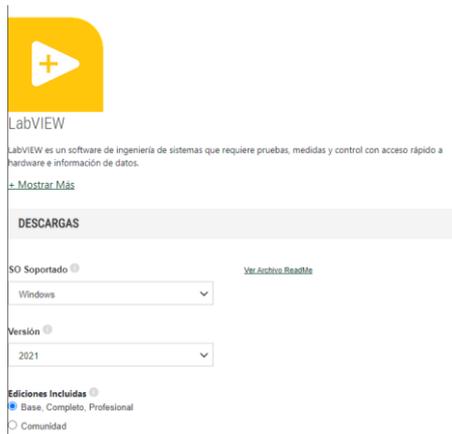
Cuando se trata de un vehículo de Fórmula SAE. Inmediatamente debe tener entendido que va a conducir un vehículo de competencia, por lo tanto, la concentración al momento de conducirlo es de vital importancia, puesto que su responsabilidad es conducir de manera segura, sin distracciones evitando accidentes en la pista o dañando algún elemento del vehículo en general.

NOTA: este manual describe el funcionamiento del sistema de telemetría para el prototipo de Fórmula SAE de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Algunas ilustraciones revelarán como está constituido el sistema y su funcionamiento, para lo cual algunas podrían parecer diferentes a las del vehículo.

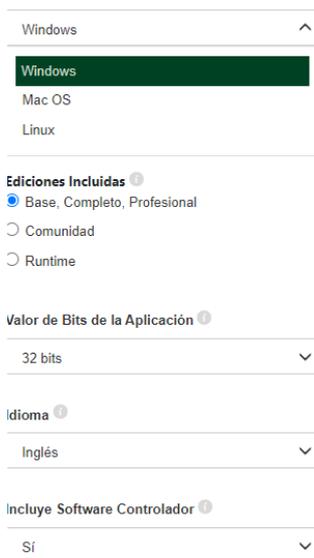
INSTALACION DEL SOFTWARE

Para la utilización de la telemetría, se ha incorporado el uso de una herramienta como es el software LabView para ser usada como centro de monitoreo su programación gráfica hace posible la visualización de cada magnitud de estudio; la integración del software ayuda en gran manera a reducir la implementación de más hardware, la lógica que posee ayuda a analizar datos, implementar interfaces personalizadas entre otras. En esta sección se explicará brevemente como el usuario deberá instalar el software en su ordenador

El software LabView se puede descargar desde la página oficial de National Instruments



De la página se puede escoger la versión del software para el tipo de sistema operativo que el usuario posee en su ordenador, para este caso Windows 10



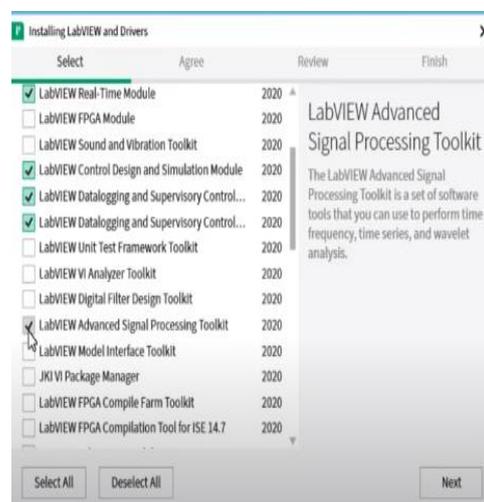
De la misma manera se puede escoger si desea el tipo de edición a emplear, el valor de bits que el sistema puede operar, el

idioma y si desea o no incorporar el software de controlador.

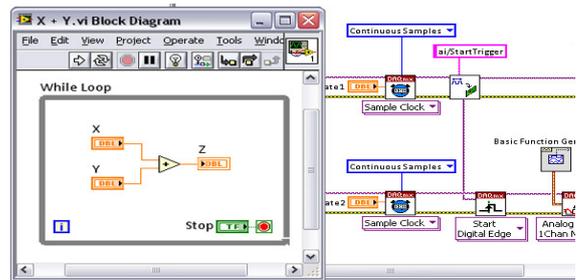
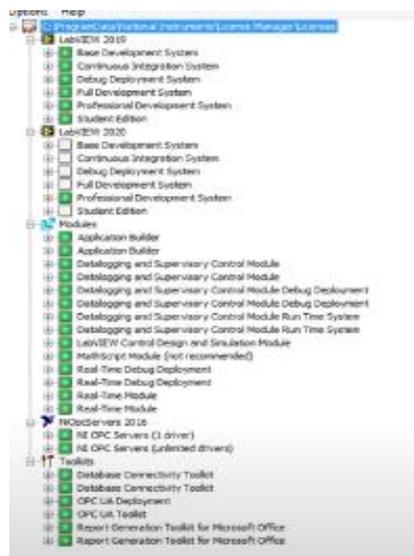
Después de la descarga se procede a la instalación, se da clic derecho sobre el ejecutable y se selecciona ejecutar como administrador.



Aparecerá una ventana emergente donde se puede escoger todos los paquetes que se desee,



Después de la instalación, se debe realizar la activación de productos como se muestra a continuación.



ACTIVACION Y DESACTIVACION DEL VEHICULO

Antes de empezar. - El sistema de telemetría del vehículo SAE necesita de un banco de baterías de 72v, si no se tiene la alimentación el automóvil no se podrá poner en marcha. Asegúrese de una correcta polarización de la batería a los conectores.

Una vez realizada la correcta activación, se procede a ejecutar el programa donde se visualizará el icono de LabVIEW



Una vez instalado el software, se procede a realizar la programación con las herramientas que posee el programa. **Cabe destacar que para el sistema de telemetría ya está programado lo que debe hacer el usuario es, simplemente debe correr el archivo ejecutable.**



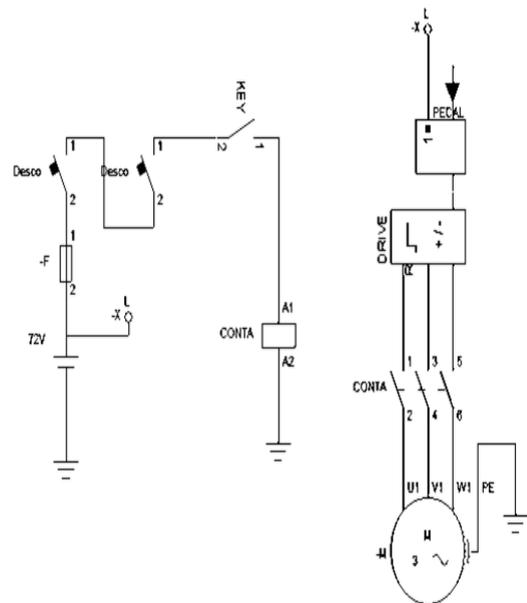
Antes de utilizar y poner en marcha el sistema de telemetría, asegúrese que todos los sensores estén conectados en su lugar.



Los conectores deben respetar la polarización, si se llegase a conectar al revés, podría ocasionar un cortocircuito y dañar las celdas de la batería, provocar explosión de la misma, o dañar considerablemente la vida útil dejándola inservible.

Convertor DC/DC.- El convertor DC/DC es la clave importante para el sistema de telemetría, puesto que el mismo otorga el voltaje necesario de 12 v para todos los módulos conectados a la tarjeta máster al igual que los sensores funcionan.

Módulos.- El sistema de telemetría utiliza dos módulos principales, el máster que está instalado en el chasis del automóvil y el receptor que está conectado al ordenador a través de un cable USB.



Primero se conecta el sistema de telemetría a la batería, para luego ser activado por 3 switch, los dos primeros son de desconexión de corriente y por último un interruptor de encendido por llave.

Todo lo descrito con anterioridad, permite que el inversor tenga alimentación y que pueda energizar con 12 v a todo el sistema. De igual manera permitirá que el contactor se energice para que el driver tenga la alimentación necesaria y se pueda activar al motor

➤ **Accionamiento**

Para poner en marcha al sistema, primero se deberá alimentar a todo el vehículo con la batería, para lo cual se debe seguir el siguiente diagrama.



Para la activación o desactivación en la alimentación, se encuentran presentes dos interruptores de desconexión maestra, mismo que cortan la energía por alguna emergencia, estos están situados en lugares estratégicos dentro del vehículo de Fórmula SAE. Tenga en cuenta que estos dispositivos están diseñados para soportar corrientes altas de hasta 75 A. deben estar todos los interruptores cerrados (ON) para que el automóvil pueda tener energía.

Cundo se active el sistema inmediatamente se podrá visualizar en la interfaz todos los parámetros llegando de manera rápida cada magnitud de estudio.

Para desactivar el sistema por alguna emergencia, es necesario parar el vehículo y abrir el circuito de alimentación por cualquiera de sus tres interruptores.



➤ **Convertor DC/DC**

Un dispositivo que ayuda a mantener el voltaje nominal de trabajo es el convertor DC/DC reductor; el cual trasforma un nivel de tensión de entrada a un valor de tensión de salida de un nivel mucho menor. En este caso transforma el voltaje de 68v de la batería del auto a 12v. este nivel de energía es el que alimentará a todo el sistema de telemetría.

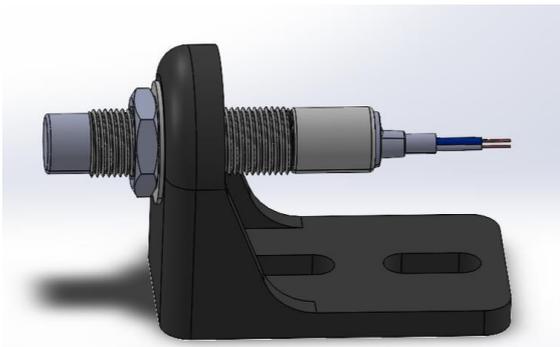


➤ **Sensores**

Se expondrá los sensores que tienen una base o una colocación externa con respecto al módulo máster. Tanto el sensor del GPS, como el lector de voltaje de la batería, están dentro del módulo máster, por lo tanto, esos

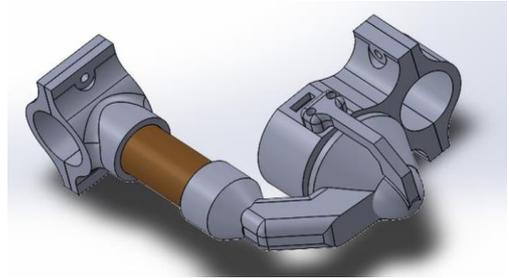
sensores no estarán detallados en este apartado.

Sensor de velocidad. - El sensor es el encargado de medir la velocidad a la que se desplaza en vehículo, este sensor sólo necesita ser conectado al máster para que empiece a operar, tenga en cuenta que la base debe estar perfectamente colocada en el chasis. **NOTA: este sensor necesita leer el cambio de superficie a la que está apuntando, por lo tanto, asegúrese que el imán o metal colocado para la lectura se encuentre en la misma dirección a una distancia no mayor de 5 mm de separación.**

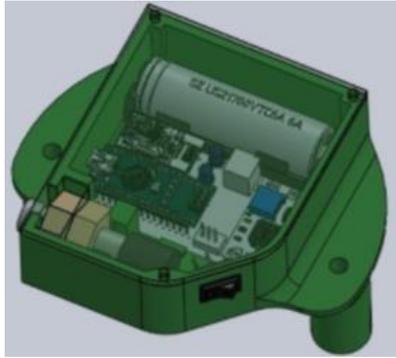


Sensor de suspensión. – Este sensor está compuesto por una combinación de dos partes, una instalada en el chasis fija del automóvil y la otra en la parte de la suspensión, la variación de la misma es leída por el sensor. Solamente necesita conectar el cableado sensor al módulo para que empiece a generar lecturas.

NOTA: es necesario que se verifique que estos sensores estén instalados y sujetos fijamente en el chasis del automóvil, puesto que, con las vibraciones del sensor, podría originar una caída o fractura de los mismos.



Sensor de presión. - Este sensor está diseñado para que ingrese en los orificios del aro del neumático, por lo tanto, el usuario deberá asegurarse que ingrese toda la base en el orificio, al igual que los pernos de fijación estén completamente ajustados. Estos sensores necesitan tener cargadas las baterías que tienen dentro, asegúrese de siempre cargar las mismas, después de tener ajustados las bases se encienden presionando el interruptor, automáticamente estos se conectarán al máster



❖ **Módulo Receptor**

Este módulo es el encargado de recibir los datos enviados por el master y mostrarlos en la interfaz, dicho módulo se conecta por medio de un cable USB hacia un ordenador y automáticamente se encenderá puesto que el puerto USB le da la alimentación necesaria para que funcione. Lo único que debe tener en cuenta es que la antena del módulo, este correctamente conectada.



❖ **Módulo Máster**

El módulo máster es el encargado de recibir y procesar los datos de telemetría. En color amarillo se encuentra el puerto de la antena donde se debe ajustar a la misma de manera correcta para la transmisión de

datos, en color rojo esta un puerto RGB donde ingresan los cables de los distintos sensores externos, en color azul está el interruptor que enciende al módulo master y en color café está el puerto de alimentación donde ingresa 12V de alimentación. El usuario deberá asegurarse que esté conectado completamente y luego encender el módulo, automáticamente enviará los datos al receptor.

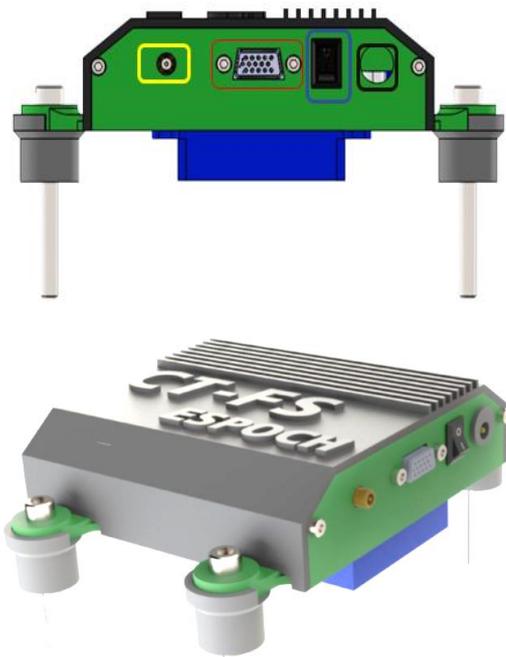


Ilustración 1: Modulo Mater

❖ **Interfaz**

El usuario deberá tener un ejecutable para que se pueda abrir en LabView, la interfaz está diseñada para que todas las señales de los sensores puedan ser visualizados en la pantalla de LabView, cuando ingrese al ejecutable el usuario deberá presionar en play para que pueda visualizarse todas las

señales. EL usuario podrá monitorear todos los valores de sensores con la menor latencia posible. **Nota:** el usuario no puede cambiar parámetros de los sensores, estos ya están calibrados solo podrá modificar ciertos rangos de lectura, siempre y cuando tenga conocimientos en LABVIEW



GUARDAR REGISTROS

Los registros se guardan en un archivo Excel mediante la utilización de un datalogger incorporado en la tarjeta master. Automáticamente se genera el archivo a penas se prenda el sistema, lo cual lo hace muy versátil al momento de obtener valores reales del comportamiento del sistema.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|-----|---------------|
| PRESION 1 | PRESION 2 | PRESION 3 | PRESION 4 | SUSPENSION 1 | SUSPENSION 2 | SUSPENSION 3 | SUSPENSION 4 | BATERIA | RPM | VELOCIDAD GPS |
| 73.462759 | 32.622711 | 45.6317 | 58.37626 | -7.816406 | 39.417969 | 12.213281 | 11.204887 | 66 | 406 | 33.672925 |
| 46.898657 | 42.200244 | 42.932077 | 70.300366 | 14.507812 | 0.351562 | -8.001562 | -2.064062 | 79 | 256 | 21.398066 |
| 78.155687 | 59.54821 | 59.940276 | 74.727717 | 46.054687 | 28.602344 | -16.523417 | -15.534003 | 64 | 150 | 12.440736 |
| 41.567766 | 40.302808 | 64.336996 | 40.212454 | 7.652344 | 38.671875 | -9.407812 | 7.910156 | 63 | 144 | 11.943107 |
| 68.612943 | 27.562882 | 51.777778 | 51.958488 | 10.289062 | 43.709511 | -10.314062 | -14.283394 | 67 | 305 | 25.296163 |
| 78.335775 | 70.442491 | 71.565524 | 36.305093 | 44.472656 | 17.378125 | -2.552344 | 17.005469 | 72 | 394 | 32.677667 |
| 59.851638 | 71.713822 | 72.520615 | 64.246642 | 41.835937 | 21.730469 | 17.310938 | -13.28906 | 70 | 49 | 4.063974 |
| 68.40293 | 37.140415 | 78.896215 | 50.783883 | 33.046875 | 29.882812 | -0.267187 | 4.525 | 62 | 100 | 8.293824 |
| 47.711644 | 45.814408 | 37.501832 | 65.339391 | 44.296875 | 5.625 | -8.362906 | 55.332031 | 75 | 260 | 21.563942 |
| 66.686103 | 29.798901 | 60.612476 | 49.899644 | 9.781719 | 18.105469 | 25.924219 | 9.492187 | 63 | 173 | 14.943116 |
| 36.327228 | 74.456654 | 70.210012 | 47.260073 | -12.738281 | 20.566406 | -34.304687 | -13.912031 | 78 | 381 | 31.599469 |
| 42.200344 | 41.748474 | 78.522689 | 73.735822 | 5.449219 | 18.851562 | -1.673437 | 1.867187 | 65 | 342 | 28.364878 |
| 34.70055 | 68.312576 | 42.178989 | 51.236613 | 17.050781 | 24.781156 | -14.589844 | 7.910156 | 66 | 133 | 11.030796 |
| 71.113553 | 52.596905 | 79.245421 | 68.481284 | 27.070312 | 0.351562 | 4.478906 | 2.415625 | 66 | 377 | 31.267716 |
| 79.697192 | 80.148962 | 50.603175 | 43.736264 | 1.148437 | 2.460937 | 21.353906 | 43.242187 | 71 | 370 | 30.687149 |
| 66.866611 | 49.370696 | 67.489389 | 40.832723 | -19.180849 | 5.316406 | -6.667906 | 50.272427 | 71 | 472 | 39.644479 |
| 75.90312 | 28.827839 | 41.206349 | 28.376068 | -13.088844 | 0.351562 | -31.640625 | 34.277344 | 68 | 403 | 33.424111 |
| 72.37851 | 52.681319 | 33.164833 | 47.440781 | 26.015625 | 9.535156 | -22.148437 | 26.894531 | 60 | 281 | 23.305645 |
| 31.345442 | 68.673993 | 60.239161 | 24.249064 | 36.210937 | 21.09375 | -14.589844 | 16.612031 | 73 | 452 | 37.480884 |
| 80.671795 | 62.529915 | 71.655678 | 41.923182 | 33.925781 | 48.867187 | -1.737812 | 47.285156 | 76 | 137 | 11.362539 |
| 59.638384 | 77.438339 | 70.39072 | 39.489621 | 3.164062 | 24.476562 | 28.209375 | 20.872656 | 72 | 124 | 10.284342 |