



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA

AUTORES:

GORDILLO BRAVO, EDISON XAVIER

LARA SALAS, LUIS EDUARDO

TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CAMBIADOR DE MARCHAS  
INTELIGENTE UTILIZANDO SISTEMAS FPGA PARA EL PROTOTIPO FESPE  
2013”

DIRECTOR: ING. MENA, EURO

CODIRECTOR: ING. TRAVEZ, WILSON

LATACUNGA, ENERO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**CERTIFICADO**

ING. EURO MENA (DIRECTOR)

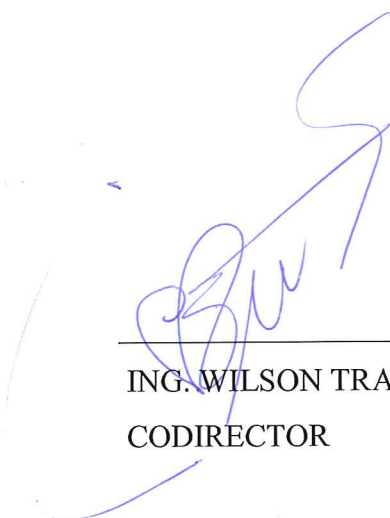
ING. WILSON TRAVEZ P. (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Diseño e implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013.” realizado por los señores: EDISON XAVIER GORDILLO BRAVO y LUIS EDUARDO LARA SALAS, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Latacunga, Enero del 2015

  
\_\_\_\_\_  
ING. EURO MENA  
DIRECTOR

  
\_\_\_\_\_  
ING. WILSON TRAVEZ P.  
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, EDISON XAVIER GORDILLO BRAVO y  
LUIS EDUARDO LARA SALAS

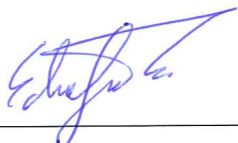
DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “Diseño e implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013.” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención

Latacunga, Enero del 2015



EDISON XAVIER GORDILLO BRAVO

CI: 180353802-2



LUIS EDUARDO LARA SALAS

CI: 0503251225

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## AUTORIZACIÓN

Nosotros, EDISON XAVIER GORDILLO BRAVO y  
LUIS EDUARDO LARA SALAS

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Diseño e implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013.” Cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Enero del 2015



---

EDISON XAVIER GORDILLO BRAVO

CI: 180353802-2



---

LUIS EDUARDO LARA SALAS

CI: 0503251225

## DEDICATORIA

*Queremos dedicar esta investigación y este esfuerzo a todos nuestros familiares y amigos que siempre han estado con nosotros y a ellos que ya no están y nos acompañan desde lejos, porque todo el esfuerzo realizado ha sido por ellos y para ellos.*

*Xavi Gordillo*

*Luis Lara*

## AGRADECIMIENTO

*Queremos agradecer a todos los que estuvieron empujando y dando apoyo, dando consejos y criticando, a los que preguntaron y a los que se preocuparon.*

*A nuestros padres y hermanos*

*A nuestros abuelos*

*A nuestros tíos*

*A nuestros tutores Euro Mena, Wilson Travez, Diego Ortiz*

*A nuestros amigos y compañeros*

*A Zeev Mantilla*

*A ellos y a todos los que nos rodearon en este tiempo les queremos decir realmente y de todo corazón*

*Muchas Gracias*

***Xavi Gordillo***

***Luis Lara***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
CERTIFICADO .....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE CUADROS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>1</b>
1.1    FÓRMULA STUDENT Y FÓRMULA SAE.....	1
1.1.1    PRINCIPALES OBJETIVOS DE LA FÓRMULA STUDENT Y FÓRMULA SAE .....	1
1.1.2    REGLAMENTO FÓRMULA SAE.....	2
1.1.3    OBJETIVOS DE DISEÑO DEL VEHÍCULO .....	2
1.2    EQUIPO FESPE .....	3
1.3    SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	4
1.3.1    EMBRAGUE.....	6
1.3.2    CAJA DE CAMBIOS .....	7
1.3.3    DIFERENCIAL TORSEN.....	11
1.3.4    CATALINA Y PIÑÓN .....	12
1.3.5    CADENA.....	12

1.3.6	JUNTAS DE TRANSMISIÓN .....	13
1.3.7	RUEDAS .....	13
1.4	SISTEMAS REAL TIME Y FPGA.....	14
1.4.1	DEFINICIÓN SISTEMA REAL-TIME.....	15
1.4.2	DEFINICIÓN FPGA .....	15
1.4.3	ARQUITECTURA COMPACTRIO .....	17
1.4.4	LABVIEW .....	18
1.4.5	CONTROLADOR REAL-TIME.....	18
1.4.6	REAL-TIME OPERATING SYSTEM (RTOS).....	19
1.5	DATOS TÉCNICOS DE LA NI SINGLE BOARD RIO.....	20
1.6	ERGONOMÍA .....	22
1.6.1	APLICACIÓN DE LA ERGONOMÍA AL DISEÑO DE MÁQUINAS .....	23
1.6.2	ERGONOMÍA GEOMÉTRICA.....	23
1.6.3	ERGONOMÍA RESPECTO A LA VISIBILIDAD .....	25
CAPÍTULO II.....		28
DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN .....		28
2.1	CRITERIOS TÉCNICOS .....	28
2.2	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	28
2.3	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MOTOR EN DONDE SE IMPLEMENTARÁ EL SISTEMA.....	29
2.4	SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA.....	30
2.5	PANEL DE INSTRUMENTOS E INDICADORES.....	31
2.5.1	REQUERIMIENTO DEL PANEL DE INSTRUMENTOS.....	32
2.5.2	HARDWARE REQUERIDO PARA EL PANEL DE INSTRUMENTOS.....	32



2.6	DISEÑO DEL VOLANTE CON MANDOS DE CONTROL.....	35
2.6.1	REQUERIMIENTOS DEL VOLANTE CON MANDOS DE CONTROL .....	35
2.6.2	OPCIONES DE SELECCIÓN PARA LOS MANDOS DE CONTROL.....	36
2.6.3	OPCIONES PARA LA BASE DE PULSADORES.....	37
2.7	DISEÑO DEL SISTEMA ACTUADOR PARA LA CAJA DE CAMBIOS Y EMBRAGUE.....	40
2.7.1	REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA ACTUADOR DE LA CAJA DE CAMBIOS .....	41
2.7.2	OPCIONES EXISTENTES PARA LA SELECCIÓN DEL ACTUADOR DE LA CAJA DE CAMBIOS .....	42
2.7.3	SUJECCIÓN MECÁNICA DEL ACTUADOR DE LA CAJA DE CAMBIOS .....	45
2.7.4	REQUERIMIENTOS PARA EL ACTUADOR EN EL EMBRAGUE .....	46
2.7.5	OPCIONES EXISTENTES PARA EL ACTUADOR EN EL EMBRAGUE .....	47
2.7.6	SUJECCIÓN MECÁNICA DEL ACTUADOR EN EL EMBRAGUE .....	48
2.8	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....	49
2.8.1	SENSOR DE REVOLUCIONES DEL MOTOR.....	50
2.8.2	SENSOR DE RPM SECUNDARIO O RPM DE ÁRBOL DE LEVAS .....	52
2.8.3	SENSOR DE VELOCIDAD .....	54
2.8.4	SWITCH DE NEUTRO.....	56

2.8.5	ORGANIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA .....	57
2.9	ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL CONTROLADOR .....	59
2.9.1	NUMERACIÓN DE CONEXIONES REQUERIDAS CON LOS DISPOSITIVOS.....	59
2.9.2	PROCESO DE FUNCIONAMIENTO .....	60
2.9.3	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR .....	61
2.9.4	OPCIONES PARA SELECCIÓN DEL CONTROLADOR .....	61
2.10	ARQUITECTURA Y CONEXIÓN DEL SISTEMA.....	62
CAPÍTULO III .....		64
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....		64
3.1	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....	64
3.2	ELEMENTOS DE ENTRADA .....	65
3.2.1	PULSADORES DEL VOLANTE.....	65
3.2.2	SENSOR DE RPM .....	66
3.2.3	SENSOR DE VELOCIDAD .....	68
3.2.4	SENSORES DE POSICIÓN PARA LOS MOTORES DC LINEALES .....	71
3.3	ELEMENTOS DE SALIDA O ELEMENTOS A CONTROLAR.....	73
3.3.1	FUNCIONAMIENTO DEL MODO MANUAL.....	74
3.3.2	FUNCIONAMIENTO DEL MODO AUTOMÁTICO .....	75
3.3.3	FUNCIONAMIENTO DEL MODO SEMIAUTOMÁTICO .....	77
3.4	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y CALIBRACIÓN.....	79

3.4.1	PRUEBAS Y CALIBRACIÓN DEL ACTUADOR DEL EMBRAGUE .....	79
3.4.2	PRUEBAS Y CALIBRACIÓN DEL ACTUADOR DE LA PALANCA DE CAMBIOS .....	82
3.5	VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	85
3.5.1	TIEMPO DE ACCIONAMIENTO .....	86
3.6	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO .....	89
CAPÍTULO IV .....		91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		91
4.1	CONCLUSIONES .....	91
4.2	RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		95
LINKOGRAFÍA.....		96
GLOSARIO .....		98
ANEXOS .....		100
ANEXO A .....		101
ANEXO B .....		103
ANEXO C .....		104
ANEXO D .....		105
ANEXO F.....		106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1: Sistema de transmisión, tracción delantera y trasera respectivamente.....	5
Figura. 1.2: Transmisión por cadena de motocicleta .....	6
Figura. 1.3: Embrague de discos .....	7
Figura. 1.4: Compacto del motor y caja de cambios de una motocicleta.....	8
Figura. 1.5: Comportamiento de la caja de cambios .....	10
Figura. 1.6: Movimiento ideal de la caja de cambios .....	11
Figura. 1.7: Diferencial torsen de tracción trasera .....	12
Figura. 1.8: Junta de transmisión para suspensión independiente .....	13
Figura. 1.9: Arquitectura del Sistema Embebido Reconfigurable .....	18
Figura. 1.10: Controlador Real-Time NI cRIO-9024.....	19
Figura. 1.11: Tarjeta Sb Rio 9636.....	21
Figura. 1.12: Características estáticas o dimensiones del cuerpo humano .....	24
Figura. 1.13: Dimensiones funcionales del cuerpo humano .....	25
Figura. 1.14: Ejemplos de diferentes tipos de elementos de control y error de lectura.....	26
Figura. 2.1: Motor Honda CBR 600 F4i .....	30
Figura. 2.2: Panel de instrumentos y control diseñado .....	34
Figura. 2.3: Diseño del PCB a dos capas para el panel de instrumentos. ....	35
Figura. 2.4: Prototipo de volante y sus pulsadores.....	40
Figura. 2.5: Posición de la palanca de cambios y palanca de embrague.....	41
Figura. 2.6: Motor eléctrico DC lineal .....	45
Figura. 2.7: Desplazamiento estático de la sujeción de la palanca de caja de cambio. ....	46
Figura. 2.8: Desplazamiento estático de la sujeción de la palanca de embrague .....	49
Figura. 2.9: Posición sensor RPM CKP.....	51
Figura. 2.10: Sensor de revoluciones y sus partes .....	52
Figura. 2.11: Posición del sensor CMP .....	53

Figura. 2.12: Sensor CMP .....	53
Figura. 2.13: Posición sensor de velocidad.....	55
Figura. 2.14: Sensor inductivo de velocidad incluido en el motor.....	55
Figura. 2.15: Switch de neutro .....	56
Figura. 2.16: Localización switch de neutro .....	57
Figura. 2.17: Organigrama de elementos del sistema .....	58
Figura. 2.18: Procesos requeridos para el funcionamiento .....	61
Figura. 2.19: Arquitectura de conexiones de los elementos del sistema.....	63
Figura. 3.1: Conexión pulsadores volante.....	65
Figura. 3.2: Frecuencia de salida del sensor CMP .....	66
Figura. 3.3: Frecuencia vs RPM del motor .....	67
Figura. 3.4: Vista interna de la caja de cambios y engranes medidos por el sensor de velocidad .....	69
Figura. 3.5: Lectura del osciloscopio de la señal del sensor de velocidad.....	70
Figura. 3.6: Velocidad vs Frecuencia.....	71
Figura. 3.7: Algoritmo de funcionamiento del modo manual.....	74
Figura. 3.8: Funcionamiento del modo automático .....	76
Figura. 3.9: Funcionamiento modo semiautomático.....	78
Figura. 3.10: Recorrido y movimiento de la palanca de embrague .....	82
Figura. 3.11: Puntos de cambio y ángulos de movimiento .....	83
Figura. 3.12: Fijación y posición final del actuador de caja de cambios .....	85
Figura. 3.13: Análisis de aceleración del vehículo .....	88

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro. 1.1: Clasificación cajas de cambio .....	9
Cuadro. 1.2: Listado de fabricantes de FPGAs .....	17
Cuadro. 1.3: Elementos de control y sus aplicaciones .....	26
Cuadro. 1.4: Características de los elementos de mando .....	27
Cuadro. 2.1: Motor del prototipo FESPE 2014 (HONDA MOTORS, 2003) .....	29
Cuadro. 2.2: Agrupación de requerimientos .....	31
Cuadro. 2.3: Elementos y requerimientos del panel de instrumentos .....	32
Cuadro. 2.4: Hardware del panel de instrumentos .....	33
Cuadro. 2.5: Descripción servomotor aerodelismo.....	42
Cuadro. 2.6: Descripción solenoide eléctrico .....	43
Cuadro. 2.7: Características pistón neumático.....	43
Cuadro. 2.8: Características motor eléctrico DC lineal.....	44
Cuadro. 2.9: Características motor paso a paso .....	47
Cuadro. 2.10: Características del sensor de revoluciones .....	50
Cuadro. 2.11: Características del sensor RPM de árbol de levas.....	52
Cuadro. 2.12: Características del sensor de velocidad.....	54
Cuadro. 2.13: Entradas y salidas totales de los elementos del sistema .....	60
Cuadro. 3.1: Análisis de los potenciómetros de posición de los actuadores DC .....	72
Cuadro. 3.2: Ventajas y desventajas del filtrado por promedio de datos .....	73
Cuadro. 3.3: Análisis de la liberación del embrague .....	81
Cuadro. 3.4: Velocidad de punto a punto para la palanca de embrague .....	81
Cuadro. 3.5: Calibración y recomendaciones de funcionamiento.....	84
Cuadro. 3.6: Análisis de tiempo de accionamiento .....	87
Cuadro. 3.7: Costo de componentes.....	89
Cuadro. 3.8: Costo de ingeniería y costo total del proyecto .....	90

## RESUMEN

La evolución de la tecnología está unificando todas las ciencias y campos de estudio, pues son cada vez más flexibles los sistemas utilizados en la industria. Las investigaciones están tendiendo a compartirse entre los diferentes campos de la industria y de la enseñanza. Este estudio propone la aplicación de la mecatrónica en el campo automotriz, creando un sistema cambiador de marchas inteligente, el que puede ser capaz de convertir una caja de cambios común de motocicleta, en una caja automática con prestaciones de competencia. La utilización de sistemas FPGA es el nacimiento de futuros proyectos de control en el campo automotriz, pues son sistemas capaces de realizar varias tareas en paralelo, dejando así abierta la puerta de la investigación para mejoras al proyecto propuesto, o para la creación de nuevos sistemas automotrices. En general este proyecto propone el trabajo sinérgico entre las ciencias automotrices y mecatrónicas, que unidas generen un sistema de control de la caja de cambios, para vehículos de competencia, que otorgue instrumentos ergonómicos para el usuario y con diferentes métodos de funcionamiento tales como manual, automático y semiautomático. El cual será aplicado en un vehículo para competencias Formula SAE y Formula Student.

**Palabras Clave:** Caja de cambios automatizada/ sistemas Real-Time/ automatización de embrague/ Formula Student/ vehículo de competición

## ABSTRACT

The technology evolution is join together all science fields, because the industry systems are getting more and more adaptable. The research field are tending to share between most sciences like automotive science and mechatronics fields. This research come up with the plication of mechatronics on automotive fields, making a smart shifting system, which can be able to convert a regular motorbike gearbox in to a racing and automatic gearbox. FPGA systems using is the beginning of future control projects on automotive fields, because this are systems which can be able of complete couple of targets in the same time, leaving a door open for research for improvements in this project, or making new automotive systems. This project propose the team work between the automotive and mechatronics sciences, which together create a control system of a gear box, for racing vehicles, conferring ergonomic instruments for the driver, and different working methods like manual gearbox, automatic gearbox, and semiautomatic gearbox. This system is going to be applied on a Formula SAE and Formula Student vehicle.

**Key Words:** Automatized Gearbox/ Real-Time system/ clutch automation, monitoring/ Formula Student/ racing vehicle.



# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **1.1 FÓRMULA STUDENT Y FÓRMULA SAE**

Es la competición educativa de automovilismo mejor establecida a nivel mundial, realizado por la Institución de Ingenieros Mecánicos y la formada Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE por sus siglas en inglés), inspirada por la industria y la innovación tecnológica a nivel mundial. Donde universidades de todo el mundo son desafiadas a construir un vehículo monoplaza, con el fin de competir en pruebas estáticas y dinámicas, en la cuales demostrarán el conocimiento técnico sobre el funcionamiento del auto y el proceso de fabricación de uno de estos. (IMechE, 2013).

Existen varios eventos alrededor del mundo, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Formula SAE Australasia
- Formula SAE Brazil
- Formula SAE Italy
- Formula Student (UK)
- Formula Student Austria
- Formula Student Germany
- Formula SAE Japan

#### **1.1.1 PRINCIPALES OBJETIVOS DE LA FÓRMULA STUDENT Y FÓRMULA SAE**

El concepto de este evento es; que una empresa ficticia de fabricación vehicular tenga un equipo que diseñe y construya un pequeño auto estilo fórmula. El prototipo será evaluado como un potencial objeto de producción masiva. Este estará enlazado a

equipos de máquetin, diseño, construcción, etc. Que se preparan para una carrera no profesional de un fin de semana, construyendo y probando un prototipo basado en una serie de reglas que tienen como propósito fomentar en los participantes el trabajo en equipo, la solución de problemas y la innovación. (SAE.org, 2014)

Es por eso que se pueden resaltar ciertas metas que debe tener cada equipo, las cuales se enumeran a continuación:

- Construir un auto de competencias, con la mayor preparación posible al menor precio.
- Diseñar sistemas innovadores para el auto (suspensión, caja de cambios, motor, chasis, etc)
- Utilizar materiales del más bajo costo y más alta confiabilidad.
- Innovar en técnicas de máquetin.
- Conseguir un producto final de gran calidad al menor costo posible y prepararlo para la producción.

### **1.1.2 REGLAMENTO FÓRMULA SAE**

Para dar a los equipos la máxima flexibilidad de diseño y la libertad de expresar su creatividad e imaginación existen muy pocas restricciones en el diseño general del auto. El reto de los equipos es crear un vehículo que pueda competir en todos los eventos descritos en FSAE-RULES. La competición entre los equipos crea la oportunidad de demostrar y poner a prueba su creatividad e ingeniería en comparación con equipos de otras universidades y de otros países. (Sae International, 2013)

### **1.1.3 OBJETIVOS DE DISEÑO DEL VEHÍCULO**

Para el propósito de la competencia de la Formula SAE, los equipos deben asumir que trabajan para una firma de diseño que debe fabricar, probar y demostrar un

vehículo para el mercado de competencias no profesionales de un fin de semana. (Sae International, 2013)

- El vehículo debe tener una alta preparación en cuestiones de aceleración, frenado y manejo y ser lo suficientemente durable como para terminar completamente una competencia de cualquiera de los eventos nombrados por la Formula SAE.
- El vehículo debe acomodar a pilotos que cumplan con la estatura del 5% de las mujeres y del 95% de los hombres, satisfaciendo el reglamento de la Formula SAE.
- Factores adicionales de diseño incluyen: estética, costo, ergonomía, fabricación, mantenimiento y fiabilidad.
- Una vez que el prototipo se haya completado y probado, la firma de diseño deberá realizar procesos financieros para preparar la venta del vehículo a una “corporación” que considere la producción de vehículos de competición, es decir que posea el mejor performance, que cumpla con las normas de la FSAE y que sea comercializado con rentabilidad.
- Cada equipo será juzgado y evaluado contra los demás equipos para determinar el mejor auto.

## **1.2 EQUIPO FESPE**

El equipo FESPE es un grupo formado y creado por estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, el cual tiene 3 años de historia dentro de la institución, el cual ha participado en 3 eventos de gran magnitud como en la Formula Student Germany 2011, Formula Student Germany 2012 y Formula Student Germany 2014.

Este grupo de trabajo, con gran motivación ha desarrollado conocimientos técnicos de construcción vehicular y de esta manera, cumpliendo el objetivo de la competencia, motiva a la investigación y creación, a los estudiantes y docentes de la universidad y del país.

En el año 2013 los integrantes del equipo decidieron participar nuevamente y con deseos de mayor éxito en competencias de este tipo y por esta razón se ha requerido la presencia de la Mecatrónica en este proyecto, para fomentar el avance electrónico, electromecánico y la automatización en el diseño y construcción del prototipo.

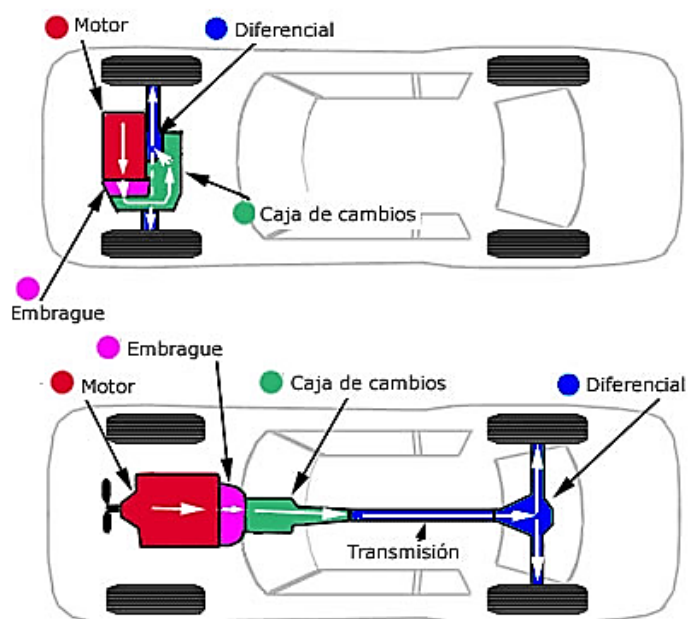
Para cumplir con la construcción de este se ha organizado el proyecto FESPE 2013-2014 dividiendo en sectores el diseño del monoplaza:

- Mecánica
- Electrónica y Eléctrica
- Financiero

### **1.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN**

Es un sistema y conjunto de elementos encargados de transferir la energía del motor del vehículo hasta el elemento propulsor (ruedas, hélices, orugas, etc.). (Atom, 2009)

En el campo automotriz este se forma por todo elemento que conduzca el movimiento del motor, lo transforme y lo soporte hasta llegar a las ruedas. Este se encuentra conformado más comúnmente por: embrague, caja de cambios, diferencial, catalina y piñón, cadena, cardán o árbol de transmisión, juntas homocinéticas y ruedas. Véase el esquema en la Figura. 1.1: Sistema de transmisión, tracción delantera y trasera respectivamente



**Figura. 1.1: Sistema de transmisión, tracción delantera y trasera respectivamente**

Fuente: (Garzón, 2014), El Automóvil al Desnudo

URL: <http://jeroitim.blogspot.com/2013/06/sistema-de-transmision-en-vehiculos.html>

Es muy importante aclarar que el sistema de transmisión de una motocicleta es muy similar al de los autos, con una sola diferencia, que en las motocicletas más comunes, después de la caja de cambios, la potencia se transfiere por una cadena hasta la rueda y no por un eje como lo hacen los autos. Véase la Figura. 1.2: Transmisión por cadena de motocicleta



**Figura. 1.2: Transmisión por cadena de motocicleta**

Fuente: (Arpem Networks, S.L., 2014), Hm Crm 125 Derapage Competition  
URL: <http://www.arpem.com/motos/modelos/hm/fotos/2011/crm-125-derapage-competition/cadena-transmision.html>

### **1.3.1 EMBRAGUE**

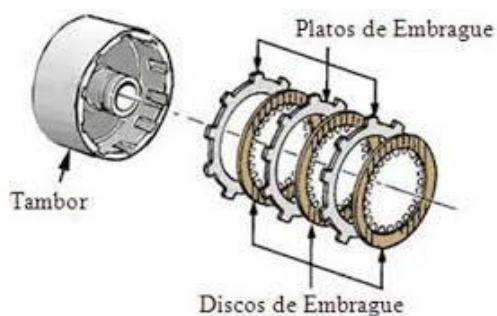
Se nombra embrague al dispositivo mecánico utilizado para la conexión entre ejes, donde uno de ellos es motor. Permiten la conexión de ejes que se encuentran a distinta velocidad, o sin movimiento, tiene la misión de acoplar y desacoplar los elementos antes nombrados de forma suave y progresiva, estas u otras variaciones de dispositivos de desconexión son necesarios, especialmente para un motor de combustión interna que debe arrancar sin carga. (Círculo de Lectores, 1993)

El tipo de embrague utilizado depende de muchos factores, como el máximo par motor, el tipo de caja de cambios y las condiciones en las que ha de funcionar, por lo cual existen varios tipos de embrague, los que se explicarán a continuación: (Crouse, 1984)

#### **a. EMBRAGUE MECÁNICO DE FRICCIÓN**

También conocido como embrague de disco, este está formado por elementos en forma de cono o de disco, que se mueven axialmente en la dirección de los ejes estando unido a ellos, los que al ponerse en contacto transmiten el par-motor dependiendo de

las fuerzas de fricción que se originan entre ellos. Como se observa en el Figura. 1.3: Embrague de discos (Crouse, 1984)



**Figura. 1.3: Embrague de discos**

Fuente: (M&PFernandez, 2008), Inspección y reemplazo de los discos de embrague en una moto.

URL: <http://www.tallervirtual.com/2008/11/30/inspeccion-y-reemplazo-de-los-discos-de-embrague-en-una-moto/>

### 1.3.2 CAJA DE CAMBIOS

También conocida como caja de velocidades, es la encargada de transformar o mantener la relación de transmisión entre la salida del motor y el receptor de potencia hacia las ruedas. Esta está formada por varios grupos de engranes que al alternarse varían y transforman el par motor. Esta se encuentra más comúnmente como una pieza enlazada de manera compacta al motor, es muy similar su posición en la mayoría de autos y motocicletas. Refiérase a la Figura. 1.1: Sistema de transmisión, tracción delantera y trasera respectivamente, para motocicletas observe la Figura. 1.4: Compacto del motor y caja de cambios de una motocicleta.



**Figura. 1.4: Compacto del motor y caja de cambios de una motocicleta.**

Fuente: (Arpem Networks, S.L., 2014), HONDA VFR 1200 F DCT  
URL: <http://www.arpem.com/motos/modelos/honda/fotos/2010/honda-vfr-1200-f-dct/honda-vfr-1200-dct-caja-cambios.html>

#### **a. CLASIFICACIÓN DE LAS CAJAS DE CAMBIOS**

Existe una gran variedad de configuraciones de las cajas de cambio, las cuales varían en tamaño, funcionalidad, número de cambios y mucho más. Estas se las puede clasificar por muchos parámetros, por medio de este estudio se las ha clasificado por el método de engranaje de cambios, véase el Cuadro. 1.1: Clasificación de las cajas de cambio



**Cuadro. 1.1: Clasificación de las cajas de cambio**

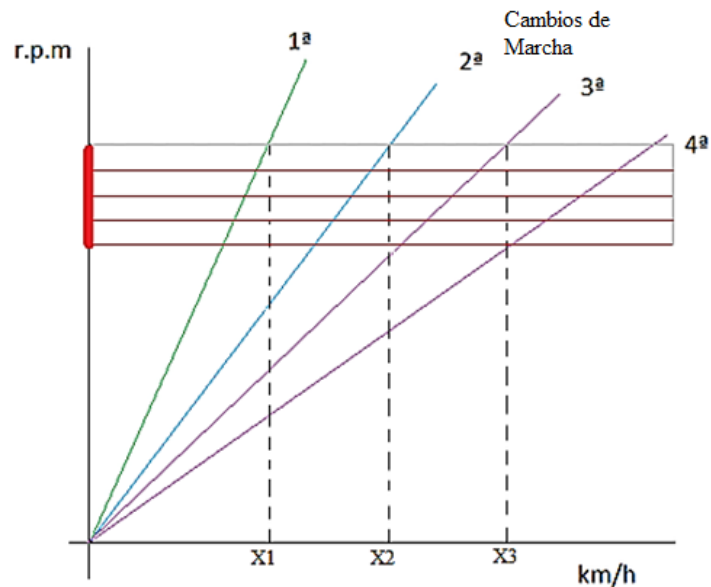
POR SU ACCIONAMIENTO	
Sin accionamiento	Son cajas que varían la relación de transformación de torque, por medio de engranajes auto deslizantes, o por medio de elementos mecánicos (generalmente cónicos) que varían sus puntos de contacto para modificar el par motor.
Accionamiento secuencial	Son cajas configuradas mecánica o electrónicamente, las que para varían la relación de transformación únicamente de forma ordenada y secuencial; es decir, van de primera, a segunda a tercera, solamente y sin evitar ninguna.
Accionamiento selectivo	Estas dependen de una selección externa. Puede ser elegido cualquiera de los cambios sin importar la posición actual y el orden.
POR SU NATURALEZA	
Automáticas	Son todo tipo de caja o método de transformación de par motor, guiado por cualquier tipo de control electrónico, mecánico y electromecánico.
Manuales	Son cajas de cambio que dependen su movimiento de la aplicación de una fuerza externa y humana.

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## b. COMPORTAMIENTO DE LA CAJA DE CAMBIO

En la Figura. 1.5: Comportamiento de la caja de cambios, se muestra un ejemplo del comportamiento de una caja de cambios y sus respectivas combinaciones, nótese que cada marcha tiene una velocidad final, la cual está limitada por las revoluciones del motor y por esa razón para seguir aumentando en velocidad existen varias

combinaciones para alcanzar la velocidad deseada, las que varían en torque, es decir a mayor velocidad menor torque entregado. (Sánchez, 2004)

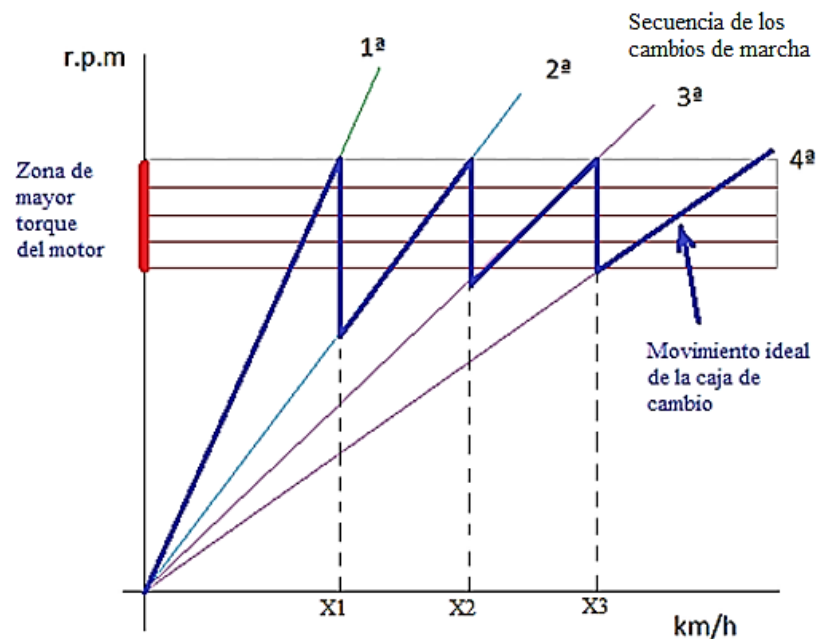


**Figura. 1.5: Comportamiento de la caja de cambios**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### c. MOVIMIENTO IDEAL DE LA CAJA DE CAMBIO

Sin importar el tipo de caja de cambio que sea, tendrá siempre un rango óptimo para transferir el mayor torque del motor, este rango depende de la configuración del mismo. De las hojas técnicas del motor se puede conocer el número de revoluciones por minuto del motor (RPM) ideales para el funcionamiento de este. Para que este torque se transmita al tren motriz de la mejor manera, la caja de cambios debería variar entre sus posiciones de tal manera que la velocidad del motor se vea menormente afectada. Como se observa en el ejemplo de la Figura. 1.6: Movimiento ideal de la caja de cambios (Sánchez, 2004)



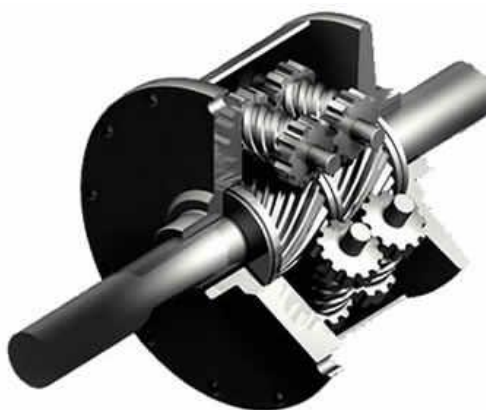
**Figura. 1.6: Movimiento ideal de la caja de cambios**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### 1.3.3 DIFERENCIAL TORSEN

Es un elemento mecánico, conformado por un conjunto de engranajes rectos y helicoidales, que posee la característica de repartir el torque proveniente del motor a las ruedas, de manera independiente, a la velocidad angular de los palieres de transmisión que se conectan a este. A diferencia de los diferenciales comunes, este logra transmitir mayor torque a la rueda que menos gira.

Pese a que este también es un diferencial autoblocante, se diferencia de los convencionales y viscosos, pues la repartición de torque entre los palieres, se da en función de cada rueda y su resistencia al girar, mientras los diferenciales autoblocantes comunes, el torque transferido es proporcional a la velocidad de giro de cada rueda. Véase la Figura. 1.7: Diferencial torsen (DanyMeganeboy, 2014)



**Figura. 1.7: Diferencial torsen de tracción trasera**

Fuente: (DanyMeganeboy , 2014), Diferencial Autoblocante  
URL: <http://www.aficionadosalamecanica.net/diferencial-autoblocante.htm>

#### **1.3.4 CATALINA Y PIÑÓN**

En el caso de motocicletas y otros tipos de vehículos motrices, el cardán es reemplazado por una catalina y un piñón que también poseen una relación de transmisión que debe ser tomada en cuenta. Generalmente esta relación de transformación es muy similar a la que tendría el cardán respecto al diferencial y comúnmente esta se acerca a 4:1. Véase la Figura. 1.2: Transmisión por cadena de motocicleta

#### **1.3.5 CADENA**

Es un elemento de transferencia de torque, que une a un piñón y una catalina, esta debe resistir toda la potencia generada por el motor. Véase la Figura. 1.2: Transmisión por cadena de motocicleta

### 1.3.6 JUNTAS DE TRANSMISIÓN

Las juntas se utilizan para unir elementos de transmisión y permitir variaciones de longitud y posiciones. Son generalmente ejes cilíndricos con inserciones para sujeción en los elementos motrices. Estas se encuentran generalmente entre el diferencial y las ruedas. Su forma se muestra en la Figura. 1.8: Junta de transmisión para suspensión independiente



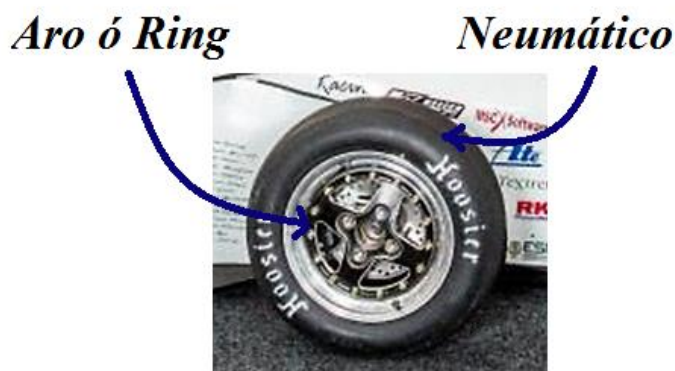
**Figura. 1.8: Junta de transmisión para suspensión independiente**

Fuente: (\*Ale\*, 2014), El Sistema de Transmisión

URL: <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>

### 1.3.7 RUEDAS

Elementos finales que transmiten la fuerza recibida por todo el sistema de transmisión hasta el suelo, son de forma circular, conformadas por un aro o ring generalmente fabricado de algún tipo de metal y por un neumático de goma inflado con un gas. Véase la Figura 1.9: Rueda del vehículo colibrí (prototipo FESPE 2014)



**Figura 1.9: Rueda del vehículo colibrí (prototipo FESPE 2014)**

Fuente: (Fespe Racing Team, 2014) Foto del equipo en el evento Fórmula Studen  
 URL: <https://www.facebook.com/FESPETeam?fref=ts>

#### 1.4 SISTEMAS REAL TIME Y FPGA

La industria mundial y la tecnología actual, poseen grandes avances y requerimientos tecnológicos, los procesos de control son cada vez más automatizados e inteligentemente controlados. El procesamiento de datos, la velocidad de adquisición, entre otros factores, son los determinantes al momento de seleccionar dispositivos, procesos de control y formas de programación.

National Instruments (NI), es una marca pionera, mundialmente reconocida, en el campo de la instrumentación. NI ha creado un sistema innovador para control y procesamiento de datos, potencialmente dirigido a la industria, el cual posee grandes ventajas comparativas respecto a la competencia y son sistemas nuevos para el Ecuador.

(National Instruments, 2013) La familia CompactRIO de NI, posee la tecnología conocida como sistemas Real-Time (Tiempo-Real) y sistemas FPGA, que son sistemas y controladores basados en los módulos, utilizados en aplicaciones que como: el control de partículas en el CERN Large Hadron Collider (Gran Colisionador de

Partículas), en unidades de control electrónico (ECUs) de vehículos, monitorización de vibraciones de alta velocidad para mantenimiento predictivo, entre otras.

#### **1.4.1 DEFINICIÓN SISTEMA REAL-TIME**

Un sistema en tiempo real es aquel que interactúa continuamente con un entorno, siendo más comúnmente un sistema digital. Anteriormente un sistema a tiempo real era una aproximación a la realidad, porque la tecnología no permitía una velocidad de adquisición y procesamiento de datos instantánea, en la actualidad ese tipo de comportamiento se lo ha marcado como imposible, pues nada en el mundo es tan rápido para actuar instantáneamente sin embargo, la velocidad existente en la actualidad es muy alta y capaz de soportar muy complejos sistemas de funcionamiento, siendo casi despreciable el tiempo que tarda desde la lectura de datos hasta su respuesta.

#### **1.4.2 DEFINICIÓN FPGA**

FPGA Field Programmable Gate Array o también conocido como Arreglo de Compuertas Programables en Campo, es un dispositivo semiconductor de silicio los cuales al programarlos poseen la capacidad de cablear nuevamente sus compuertas y sus semiconductores internos. Ross Freeman, el cofundador de Xilinx, inventó el FPGA en 1985. NI se ha asociado con Xilinx para ofrecer tecnología FPGA de vanguardia en una variedad de plataformas de hardware. (National Instruments, 2013)

La gran ventaja en la existencia de un FPGA es que al tener la capacidad de cambiar su conexión interna cuantas veces sea necesario, este puede de la misma manera dividir sus compuertas para que realicen un trabajo completamente diferente entre ellas y sin compartir sus recursos, es por eso que este tipo de semiconductor es el indicado para trabajar en sistemas Real-Time.

La diferencia de un FPGA con un CPU es que el FPGA posee la capacidad de ejecutar varios procesos a la vez sin interrupción alguna entre estos, un CPU mantiene un orden y una cola de espera para realizar procesos uno tras otro, provocando posibles retrasos en la operación de estos.

#### **a. BENEFICIOS DE USAR FPGAs**

La adopción de chips FPGA en las industrias ha sido impulsada por el hecho de que los FPGAs combinan lo mejor de los circuitos integrados de aplicación específica (ASICs) y de los sistemas basados en procesadores. Estos beneficios incluyen los siguientes: (National Instruments, 2013)

- Tiempos más rápidos de respuesta de E/S y funcionalidad especializada
- Exceder la potencia de cómputo de procesadores de señales digitales
- Rápida generación de prototipos y verificación sin el proceso de fabricación del diseño personalizado de ASIC
- Implementar funcionalidad personalizada con la fiabilidad de hardware determinístico dedicado
- Se puede actualizar en campo, eliminando los gastos por rediseño personalizado de ASIC y mantenimiento

#### **b. FABRICANTES DE FPGAs**

Existe una gran variedad de fabricantes de FPGAs, muchos de estos son de las más conocidas marcas y con fines industriales, según varios proveedores, estas son las marcas más reconocidas véase el Cuadro. 1.2: Listado de fabricantes de FPGAs, (Direct Industry, 2014)



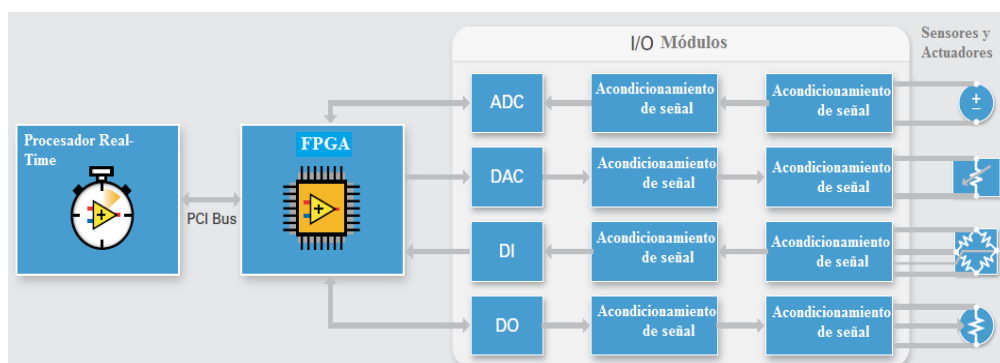
**Cuadro. 1.2: Listado de fabricantes de FPGAs**

FABRICANTE	PRODUCTO
Atmel	AT40K10-2BQC
MAZeT	EnDat 2.2
Wuntronic	Custom FPGA Technology
Altera	Stratix 10
Lattice Semiconductor Corp.	ECP3, ECP2/M, XP2, Mach X0, iCE40
Microsemi	SmartFusion 2
Xilinx	Artix-7, Artix 7Q, Kintex-7, Kintex-7Q, Virtex7, Virtex 7Q
RFEL Ltd	CCF
GigOptix	GigOptix

Realizado por Gordillo, X. y Lara, L.

### 1.4.3 ARQUITECTURA COMPACTRIO

National Instruments dice que “La CompactRIO, es un robusto sistema embebido reconfigurable que contiene 3 componentes: un procesador corriendo un sistema operativo Real-Time (RTOS, por sus siglas en inglés), un arreglo de compuertas con campo-programable (FPGA, por sus siglas en inglés) y módulos industriales I/O intercambiables.”. El procesador real-time ofrece un comportamiento confiable y predecible, procesa a una matriz de puntos flotantes y analiza, mientras el FPGA se centra en pequeñas tareas que requieren lógica de alta velocidad y perfecta sincronización. De la misma manera las aplicaciones en CompactRIO, incorporan un interfaz hombre-máquina (HMI), que provee al operador una interfaz de usuario gráfica (GUI) para monitoreo del sistema y configurar parámetros de funcionamiento. Así como se puede observar en la Figura. 1.10: Arquitectura del Sistema Embebido Reconfigurable (National Instruments, 2013)



**Figura. 1.10: Arquitectura del Sistema Embebido Reconfigurable**

Fuente: (National Industries, 2014), FPGA

URL: <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>

#### 1.4.4 LABVIEW

Es un programador con ambiente gráfico, muy usado y conocido por desarrolladores de sofisticados sistemas de control, usando íconos gráficos y conexiones que ensamblan el diagrama de flujo. La plataforma de LabVIEW puede soportar varios objetivos y sistemas operativos, en el caso de CompactRIO, LabVIEW puede ser usado para acceder e integrar todos los componentes de la arquitectura I/O reconfigurable de LabVIEW. (National Instruments, 2013)

#### 1.4.5 CONTROLADOR REAL-TIME

Contiene un procesador que ejecuta de forma determinística y confiable las aplicaciones Real-Time de LabVIEW y ofrece un control multi-frecuencia, registro de datos a bordo y comunicación con periféricos. Adicionalmente incluye entradas de 9 a 30 VDC, un reloj Real-Time, temporizadores “perro guardián”, puertos duales de Ethernet, más de 2GB de memoria y soportes incluidos de USB y RS232, obsérvese la Figura. 1.11: Controlador Real-Time NI cRIO-9024 (National Instruments, 2013)



**Figura. 1.11: Controlador Real-Time NI cRIO-9024**

Fuente: (National Industries, 2014), Ni cRio

URL: <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>

#### **1.4.6 REAL-TIME OPERATING SYSTEM (RTOS)**

Un RTOS es capaz de ejecutar programas con requerimiento de perfecta sincronización y temporización.

##### **a. SINCRONIZACIÓN PRECISA**

También conocido como “Precise Timing” es una característica que poseen la mayor parte de computadores industriales, la que a diferencia de un sistema operativo convencional (como Windows) este mantiene el funcionamiento constante sin actualizaciones en segundo plano, o escaneo antivirus, u otras operaciones que puedan provocar retardos en las ejecuciones. El RTOS ayudará a implementar lo siguiente: (National Instruments, 2013)

- Priorizar diferentes secciones de un programa
- Correr lazos a un casi exacto tiempo entre iteraciones
- Detectar si un lazo está fallando en su objetivo de tiempo

## **b. FIABILIDAD**

Los sistemas operativos Real-Time, están hechos para que puedan ser configurados para mantener su operatividad por días, meses y años, para funcionar en trabajos que requieran 24 horas y 7 días a la semana sin problema alguno. Un perro guardián “watchdog” se encuentra incluido para resetear todo el sistema en caso de que exista una falla, todo esto va acompañado de un hardware robusto con la capacidad de mantenerse en perfectas condiciones después de un trabajo duro y largo. (National Instruments, 2013)

## **1.5 DATOS TÉCNICOS DE LA NI SINGLE BOARD RIO**

Esta es una tarjeta de control que utiliza FPGA para su funcionamiento, está dedicada al mercado estudiantil de aprendizaje. Esta tarjeta ha sido seleccionada por su bajo costo y alto nivel de flexibilidad, pues el objetivo de la competencia es lograr un muy bajo costo de fabricación del vehículo

Es un dispositivo embebido de control y adquisición que integra un procesador en tiempo real, un FPGA reconfigurable por el usuario y E/S en una sola tarjeta PCB, el SB-Rio 9636 está diseñado para ser fácilmente embebido en aplicaciones de alto rendimiento. Figura. 1.12: Tarjeta Sb Rio 9636



**Figura. 1.12: Tarjeta Sb Rio 9636**

Fuente: (National Instruments, 2014), Sb Rio-9636  
 URL: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210421>

Los datos que se pueden obtener de esta tarjeta son los siguientes:

- Procesador de 400MHz, 512MB de almacenamiento no volátil, 256MB DRAM para control y análisis determinísticos.
- FPGA XILINX Spartan-6 Lx45 reconfigurable para temporización, procesamiento en línea y control personalizado.
- 16 entradas analógicas de 16 bits, 4 salidas analógicas de 16 bits, 28 líneas DIO de 3.3V
- Puertos Ethernet 10/100BASE-T, serial RS-232, Serial RS485, USB, CAN y SDHC integrados
- Rango de temperatura de operación ambiente y local de  $-40^{\circ}$  y  $85^{\circ}\text{C}$ ; suministro de potencia de 9 a 30 VDC
- Sistema operativo Real-Time
- Soporte para LabVIEW rt
- Certificado RoHS, UL-Product Safety
- Compatibilidad con RoHS

#### Entrada Analógica

- 16 Canales
- Resolución 16 Bits
- Velocidad de muestreo de 200 kS/s
- Máximo voltaje de entrada analógica 10V
- Rango de voltaje máximo -10V a 10V

#### Salida Analógica

- Resolución 16 Bits
- Máximo voltaje de entrada analógica 10V
- Rango de voltaje máximo -10V a 10V
- 4 Canales

#### E/S Digital

- 28 Canales bidireccionales
- Niveles lógicos de 3.3V

#### Especificaciones Físicas

- Longitud de 15.4 cm
- Ancho 10.3 cm

## 1.6 ERGONOMÍA

Es una ciencia relativamente moderna, mayormente aplicada en el campo laboral, que tiene como origen Inglaterra, donde se forma una sociedad científica llamada Ergonomics Research Society, donde se crea el término “ergonomics” para expresar la relación entre el hombre y el ambiente de trabajo. (Cortés Díaz, 2012)

Cazamian y Maurice Montmollin, ponen de manifiesto el verdadero sentido de esta técnica, al definir la ergonomía, como:

El estudio multidisciplinar del trabajo humano que pretende descubrir sus leyes para formular mejor sus reglas. La ergonomía es pues conocimiento y acción; el conocimiento es científico y se esfuerza en procurar modelos explicativos generales; la acción trata de adaptar mejor el trabajo a los trabajadores. (Cortés Díaz, 2012)

### **1.6.1 APLICACIÓN DE LA ERGONOMÍA AL DISEÑO DE MÁQUINAS**

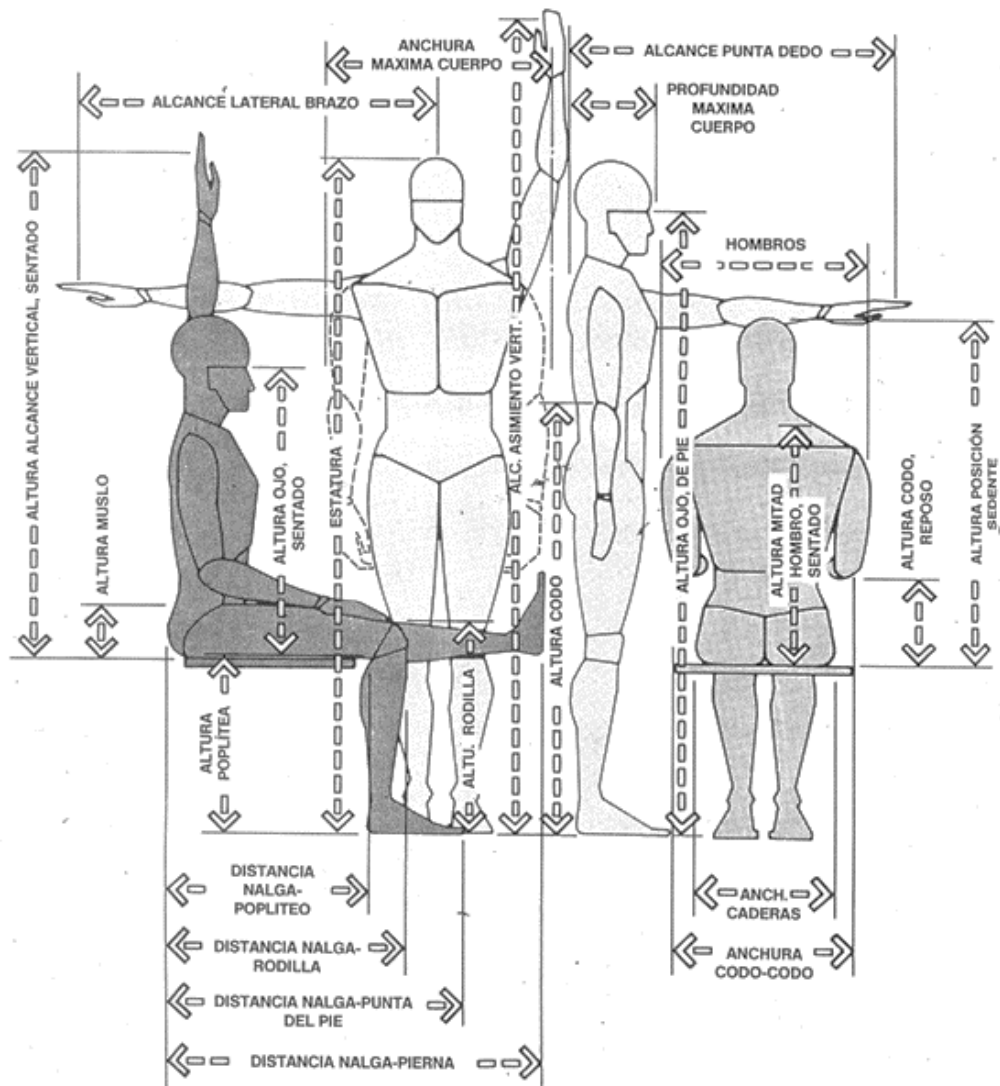
Es muy importante tomar en cuenta la comodidad del puesto de trabajo para el usuario, referentemente a los indicadores, manipuladores y etc. Es importante tomar en cuenta los siguientes criterios de diseño: (Cortés Díaz, 2012)

- Criterios geométricos
- Criterios de visibilidad

### **1.6.2 ERGONOMÍA GEOMÉTRICA**

Esta es una ciencia que estudia la relación entre las personas y las condiciones geométricas en su lugar de trabajo. Para poder diseñar correctamente los dispositivos de usuario, se deben conocer los datos antropométricos y de las dimensiones esenciales del puesto (Zonas de alcance óptimas, altura del plano de trabajo y espacios reservados a las piernas.) Recurriendo al uso de percentiles. (Cortés Díaz, 2012)

En la Figura. 1.13: Características estáticas o dimensiones del cuerpo humano, se observa las cotas correspondientes a las posiciones más frecuentes por el hombre (de pie o sentado) que son utilizadas para diseñar los lugares de operación humana.

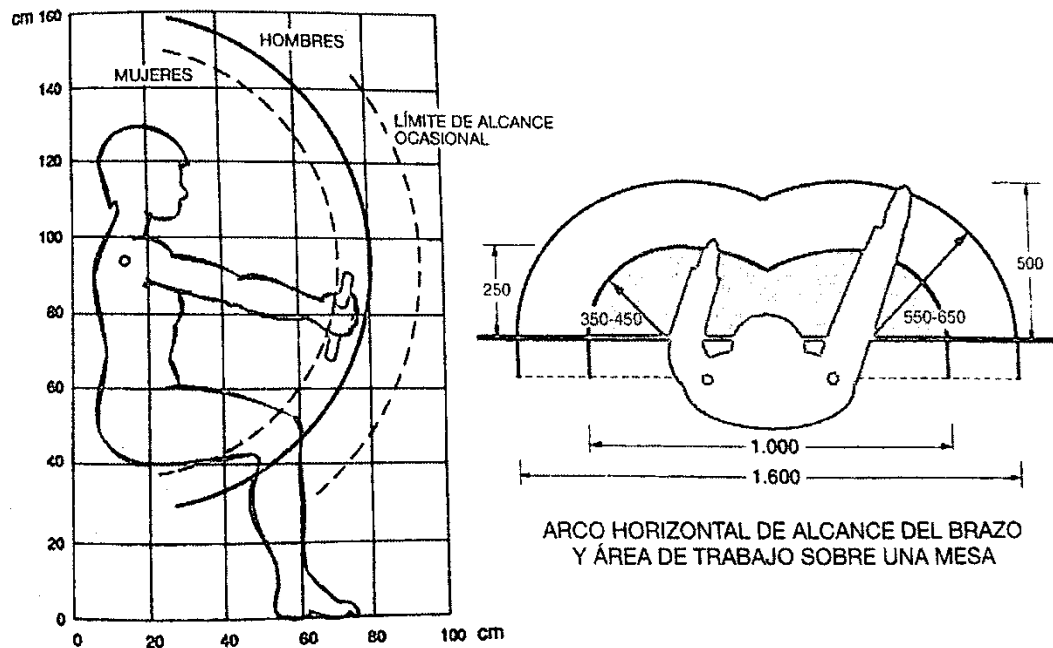


**Figura. 1.13: Características estáticas o dimensiones del cuerpo humano**

Fuente: (Bestraten Bellovi & otros, 1994), Ergonomía  
 Encontrado en: "Prevención: Diseño puestos de trabajo"

Existen también dimensiones dinámicas o de funcionamiento del cuerpo humano que pueden tomarse en cuenta, como se observa en la Figura. 1.14: Dimensiones funcionales del cuerpo humano extraído de (Bestraten Bellovi & otros, 1994)





**Figura. 1.14: Dimensiones funcionales del cuerpo humano**

Fuente: (Bestraten Bellovi & otros, 1994), Ergonomía  
 Encontrado en: "Prevención: Diseño puestos de trabajo"

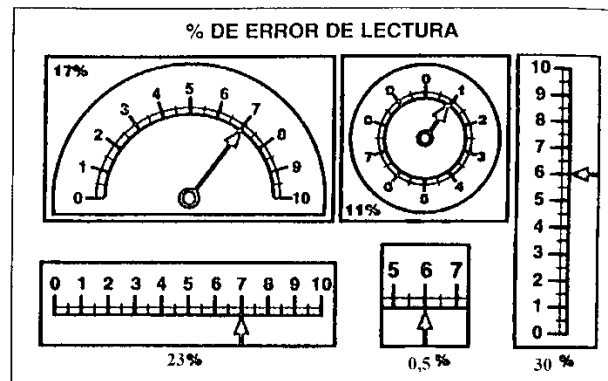
### 1.6.3 ERGONOMÍA RESPECTO A LA VISIBILIDAD

Para reducir la mayor cantidad de errores causados por el operador, es preciso que los elementos que entreguen información estén diseñados de tal manera que ésta llegue al hombre forma conveniente a su mecanismo sensorial, para eso la información debe:

- Ser solo la indispensable
- Presentar los datos de forma simple, fácil de leer y sin dar lugar a interpretaciones erróneas.
- Mostrar la información en el momento oportuno, evitando la memorización y dando tiempo para elegir y actuar.

Los visualizadores para control deben ser seleccionados cuidadosamente para que exista la mayor comodidad para el operario, asimismo el menor error de lectura

posible, según se lo requiera, véase la Figura. 1.15: Ejemplos de diferentes tipos de elementos de control y error de lectura extraído de (Cortés Díaz, 2012)

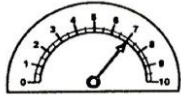
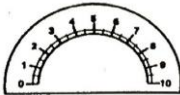



**Figura. 1.15: Ejemplos de diferentes tipos de elementos de control y error de lectura**

Fuente: (Bestraten Bellovi & otros, 1994), Ergonomía  
Encontrado en: "Prevención: Diseño equipos de trabajo"

En el Cuadro. 1.3: Elementos de control y sus aplicaciones extraído de (Cortés Díaz, 2012) se muestra una clasificación y aplicaciones de visualizadores utilizados en paneles de mando, estos deben ser usados como referencia para una mejor aplicación y diseño de máquinas.







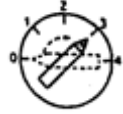

**Cuadro. 1.3: Elementos de control y sus aplicaciones**

ELEMENTOS DE CONTROL Y SUS APLICACIONES			
Tipo de dial	 AGUJA MÓVIL	 DIAL MÓVIL	 NUMÉRICO
Lectura de valores absolutos	Bueno	Bueno	Muy bueno
Observación de cambios de valores	Muy bueno	Bueno	No válido
Lectura de valores exactos	Muy bueno	Bueno	Bueno

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L., Información recogida de (Cortés Díaz, 2012)

Los elementos de mando también deben ser considerados al momento de diseñar un sistema, depende de la buena selección de estos que la máquina sea bien controlada y con bajos porcentajes de error, en el Cuadro. 1.4: Características de los elementos de mando se observan las características de selección para los diferentes tipos de mando.

**Cuadro. 1.4: Características de los elementos de mando**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE MANDO**

TIPO DE CONTROL		RAPIDEZ	PRECISIÓN	FUERZA
	MANIVELA			
	Pequeña	Buena	Pobre	No adecuada
	Grande	Pobre	No adecuada	Buena
	VOLANTE	Pobre	Bueno	Utilizable
	BOTÓN	No utilizable	Regular	No utilizable
	PALANCA			
	Horizontal	Buena	Pobre	Pobre
	Vertical	Buena	Regular	Corta pobre larga buena
	Joystick	Bueno	Regular	Pobre
	PEDAL	Bueno	Pobre	Bueno
	PULSADOR	Bueno	No utilizable	No utilizable
	INTERRUPTOR GIRATORIO	Bueno	Bueno	No utilizable
	INTERRUPTOR DE PALANCA	Bueno	Bueno	Pobre

Realizado por Gordillo, X. y Lara, L.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN**

#### **2.1 CRITERIOS TÉCNICOS**

El criterio de diseño ha sido muy considerado ya que este es un elemento destinado a ser implementado solamente en vehículos prototipo de competición de la Fórmula Student, es decir se deben tomar en cuenta todas las variables que una competencia implica, creando sistemas compactos y livianos, evitando sobredimensionamientos innecesarios.

La naturaleza de la competencia fomenta la construcción de elementos innovadores al menor costo posible y que su durabilidad sea basta para una semana de competencia. Por la misma razón los diseños mantienen el menor factor de seguridad admisible y la menor cantidad de material utilizado.

Varios objetivos de diseño se han postulado para facilitar la construcción del sistema cambiador de marchas inteligente como se muestran a continuación:

- Seleccionar, definir y situar los elementos que formarán parte del sistema inteligente.
- Clasificar elementos de medición y elementos de actuación.
- Definir y seleccionar la arquitectura de control para el sistema.

#### **2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO**

El sistema debe poseer ciertas características, que permitan una buena ergonomía con el usuario, una gran velocidad de respuesta, un fácil uso del sistema, una gran flexibilidad en los dispositivos, controles predictivos y un inteligente funcionamiento. Como objetivos de funcionamiento y construcción se han enumerado los siguientes:

- Indicar la marcha en la que se encuentra la caja de cambios.
- Mostrar las revoluciones del motor en un panel de instrumentos
- Procesar la velocidad del vehículo y RPM del motor
- Poseer control de usuario al volante.
- Actuar sobre la palanca de cambios del motor del vehículo.
- Actuar sobre la palanca de embrague del vehículo.
- Poseer un procesador capaz de realizar las tareas eficientemente.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MOTOR EN DONDE SE IMPLEMENTARÁ EL SISTEMA

A continuación se describen las características del motor adquirido por el Equipo FESPE, en donde se realizará la implementación del sistema cambiador de marchas inteligente que propone este estudio. Cuadro. 2.1: Motor de combustión interna del prototipo FESPE 2014

**Cuadro. 2.1: Motor de combustión interna del prototipo FESPE 2014**

NOMBRE DEL MOTOR	HONDA CBR 600 F4i
CARACTERÍSTICAS GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor de 4 tiempos</li> <li>• 599 cc configuración DOHC</li> <li>• 109 HP configuración de fábrica</li> <li>• 60 HP aproximados (restringido por reglamento)</li> <li>• 170 Kg de peso</li> <li>• 2000 rpm de ralentí</li> <li>• 14,200 rpm máximas</li> </ul>
TIPO DE EMBRAGUE	Húmedo de discos múltiples, operado por cable
CAJA DE CAMBIOS	6 velocidades, de contacto continuo, configuración secuencial (1, N, 2, 3, 4, 5, 6)

Fuente: (HONDA MOTORS, 2003)

Para reconocer el motor, se lo encuentra en la parte posterior del vehículo, detrás del compartimento que separa al piloto de los elementos activos del prototipo. Conózcase su forma en la Figura. 2.1: Motor Honda CBR 600 F4i



**Figura. 2.1: Motor Honda CBR 600 F4i**

Fuente: Fotografía hecha pública por “Artículos de venta eBay”, Extraída el 12 mayo 2014.  
URL: <http://www.ebay.com/itm/2002-HONDA-CBR600-F4I-CBR-600-F4I-ENGINE-MOTOR-TRANS-p-/220407003245>  
Modificado y editado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## **2.4 SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA**

Según las necesidades del sistema, se ha visto la necesidad de dividirlos para analizarlos independientemente, pues se ha visto que cada sector requiere de estudios separados y diferentes. Como se enumeró anteriormente, las necesidades del sistema serán agrupadas idealmente como se muestran en el Cuadro. 2.2: Agrupación de requerimientos.

**Cuadro. 2.2: Agrupación de requerimientos**

SECTOR DEL SISTEMA	OBJETIVOS DE DISEÑO
Lectura de Sensores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor velocidad</li> <li>• Sensor revoluciones</li> <li>• Sensor posición neutral</li> <li>• Presión de aceite.</li> </ul>
Actuadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palanca de embrague</li> <li>• Palanca de cambio de marcha</li> </ul>
Indicadores en General	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicar la marcha.</li> <li>• Mostrar las revoluciones del motor.</li> <li>• Indicador presión de aceite y otros</li> </ul>
Control de Usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selector de modo de caja de cambio.</li> <li>• Pulsadores para selección de marcha.</li> </ul>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

El sistema en general puede ser complementado con otros elementos posteriormente descritos. Y para mantener la ergonomía y las características de un vehículo de competencia, varias partes de la sectorización se encontrarán fusionadas o trabajando en conjunto como es el caso del control de usuario y los indicadores en general.

## 2.5 PANEL DE INSTRUMENTOS E INDICADORES

Como se mencionó anteriormente el sistema debe incluir indicadores de marcha, revoluciones del motor y otras luces indicadoras, asimismo el panel deberá contener varios selectores y botones, los que se encargarán del tipo de cambio de marcha requerido, encendido del motor y paro de emergencia respectivamente. Este, junto con el volante pertenece al sector antes nombrado de “control de usuario e indicadores en general”

### 2.5.1 REQUERIMIENTO DEL PANEL DE INSTRUMENTOS

Es importante volver a tomar en cuenta los objetivos de diseño anteriormente nombrados, pues es necesario un panel que sea simple, liviano y lo menos costoso posible. Como elementos y requerimientos del panel véase el Cuadro. 2.3: Elementos y requerimientos del panel de instrumentos.

**Cuadro. 2.3: Elementos y requerimientos del panel de instrumentos**

DISPOSITIVO REQUERIDO	ELEMENTO SELECCIONADO
Tacómetro	Conjunto de LEDs de colores (Verdes, Naranja y rojo)
Indicador de marchas	Matriz de LEDs
Luces indicadoras (Temperatura y Aceite)	LEDs de colores (Verde y Rojo)
Selectores de modo de cambio de marcha	3 Switches de dos posiciones
Apagado de emergencia	Switch de desconexión tipo Paro de emergencia
Botón de arranque	Pulsador color verde de 3A

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### 2.5.2 HARDWARE REQUERIDO PARA EL PANEL DE INSTRUMENTOS

Como estructura del panel de instrumentos servirá la placa de circuito impreso, esta reúne las propiedades mecánicas suficientes para hacer de soporte de los elementos. Véase los elementos utilizados en el Cuadro. 2.4: Hardware del panel de instrumentos

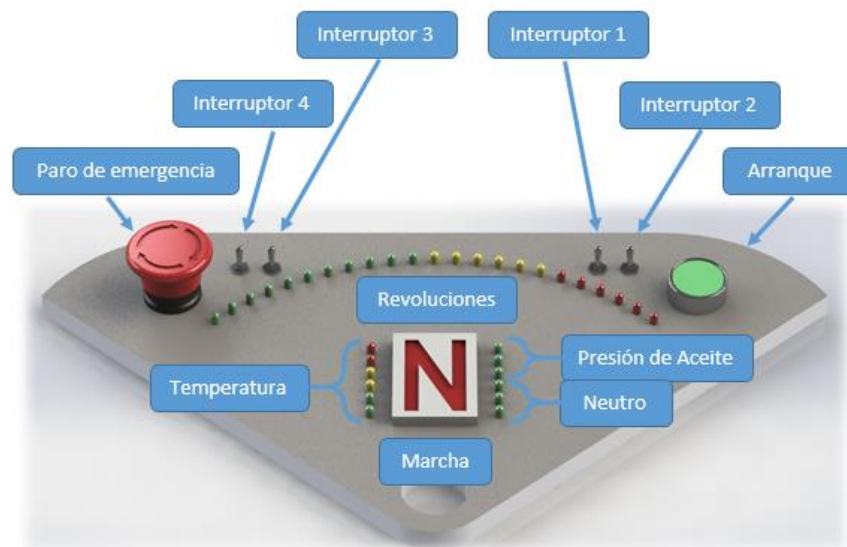


**Cuadro. 2.4: Hardware del panel de instrumentos**

ELEMENTO	FUNCIÓN
<b>Placa de circuito impreso a doble capa</b>	Conexiones entre elementos Sostén y estructura del panel de elementos
<b>Borneras de conexión</b>	Salidas y entradas hasta la tarjeta de control
<b>Microcontroladores AVR</b>	Encargado de codificar y decodificar la comunicación con la tarjeta de control y los elementos del panel de instrumentos
<b>Vinilo adhesivo de color</b>	Impermeabilizar el circuito Mejorar la estética de este
<b>Pernos de sujeción</b>	Unión del panel de instrumentos con el bastidor del vehículo
<b>Cable de conexiones</b>	Comunica el panel de instrumentos con la tarjeta de control. Ver <b>ANEXO</b>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

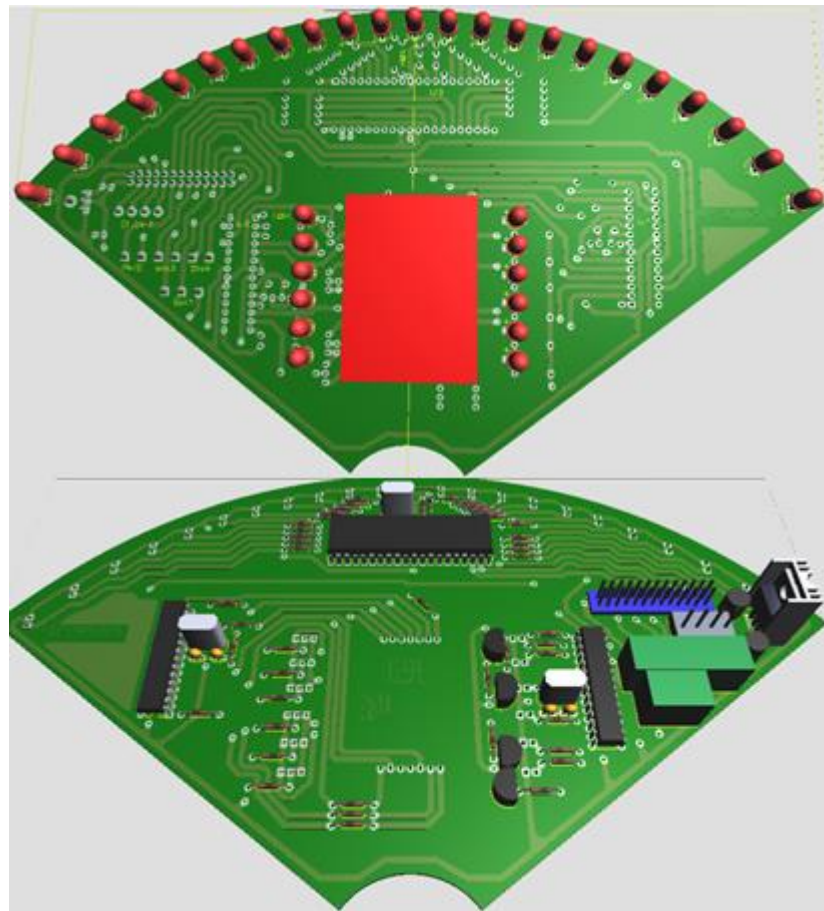
Como panel de instrumentos, según varios criterios y utilizando formas comúnmente conocidas se ha planteado un sistema sencillo que no confunda al usuario, de fácil acceso y de alta visibilidad, como el que se muestra en la Figura. 2.2: Panel de instrumentos y control diseñado



**Figura. 2.2: Panel de instrumentos y control diseñado**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Después del diseño requerido para la visualización se requiere del diseño de conexiones para la placa de baquelita, se servirá como soporte para los instrumentos y los indicadores, como se nombró anteriormente, es importante recalcar que el panel de instrumentos mantendrá un bus de comunicación; es decir, un solo grupo de cables de salidas y entradas, para esto se codificara y decodificaran las señales mediante microcontroladores AVR véase la Figura. 2.3: Diseño del PCB a dos capas para el panel de instrumentos.



**Figura. 2.3: Diseño del PCB a dos capas para el panel de instrumentos.**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## **2.6 DISEÑO DEL VOLANTE CON MANDOS DE CONTROL**

La organización permite el uso solamente de volantes homologados, permitiendo solamente la modificación de estos; es por eso, que con base a la teoría de ergonomía, se diseñó un adaptador para el volante donde se incluirán los elementos de control de usuario, que se han seleccionado.

### **2.6.1 REQUERIMIENTOS DEL VOLANTE CON MANDOS DE CONTROL**

Para un mejor funcionamiento deben tomarse en cuenta los siguientes requerimientos

- Los mandos de control deben facilitar la acción del usuario sin retirar las manos del volante.
- Su posición no debe interferir con la visibilidad del usuario.
- Su posición no debe interferir con el movimiento del usuario dentro de la cabina.
- Estos no deben interferir con los elementos mecánicos dentro de la cabina.
- De preferencia deben ser 2, uno para subir marchas y otro para bajarlas.
- El accionamiento de estos debe mantener la ergonomía y la rápida acción del usuario.

## 2.6.2 OPCIONES DE SELECCIÓN PARA LOS MANDOS DE CONTROL

A continuación se enumerarán las opciones posibles para los mandos de control y se seleccionará una de ellas.

### a. PALETAS DETRÁS DEL VOLANTE

Generalmente se las conoce como dos placas o botones en forma alargada que se encuentran detrás del volante, su manipulación depende del movimiento de 1 o más dedos, requiere una base fuerte que las sostenga y un sistema de accionamiento eléctrico. Véase el Cuadro. 2.5: Descripción de las paletas para cambio de marchas.

**Cuadro. 2.5: Descripción de las paletas para cambio de marchas.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil acoplamiento al volante</li> <li>• Tamaño compacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto nivel de mecanizado.</li> <li>• Alto precio.</li> <li>• Utiliza muchos elementos para su ensamblado.</li> </ul>	<p>Posee una gran ergonomía, su fabricación posee alto grado de complejidad. Los elementos utilizados son costosos y no muy comunes.</p>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## b. PULSADORES CONCÉNTRICOS AL VOLANTE

Se los posiciona sobre el centro del volante, unidos completamente a este, demandan solamente de una base que los soporte y 2 pulsadores que se adhieran a esta. Véase el Cuadro. 2.6: Descripción de pulsadores concéntricos al volante

**Cuadro. 2.6: Descripción de pulsadores concéntricos al volante**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil acoplamiento al volante</li> <li>• Tamaño compacto</li> <li>• Bajo costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrarlos para ser presionados durante una curva puede resultar dificultoso.</li> </ul>	<p>No ocupan mucho espacio, mantienen el volante simple sin dañarlo y sin elementos que estorben al piloto.</p>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## c. SOLUCIÓN TOMADA

Pulsadores concéntricos a la base. Pues tienen las siguientes ventajas.

- Bajo costo.
- No requieren de más elementos para su instalación.
- Requieren de menor material y menor mecanizado.
- Cumplen de mejor manera con la teoría de ergonomía.

### 2.6.3 OPCIONES PARA LA BASE DE PULSADORES

Esta debe ser fácilmente acoplada al volante homologado, poseer suficientes propiedades mecánicas para su aplicación, mantener el menor costo de material y mecanizado que sea posible.

### a. FIBRAS COMPUESTAS

Poseen gran resistencia y bajo peso, su precio suele ser elevado y un complejo proceso de mecanizado y construcción. Véase el Cuadro. 2.7: Descripción de las fibras compuestas.

**Cuadro. 2.7: Descripción de las fibras compuestas.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseen gran maleabilidad.</li> <li>• Su dureza y flexibilidad se basa a su fabricación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee un costo elevado.</li> <li>• No existen comúnmente en el país.</li> <li>• Su fabricación requiere de complejas maquinarias</li> </ul>	Existen gran variedad de estas, pero su fabricación es muy compleja y no es muy común en el país.

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### b. ALUMINIO FORJADO

Posee gran resistencia, bajo peso, alto precio y altos requerimientos de mecanizado. Véase el Cuadro. 2.8: Descripción del aluminio forjado

**Cuadro. 2.8: Descripción del aluminio forjado**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee gran resistencia.</li> <li>• Su peso es muy inferior al del acero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee ligeramente más peso que las fibras compuestas</li> <li>• Su costo de fabricación y maquinado es muy elevado.</li> </ul>	para tomar la forma requerida este debe pasar por procesos de mecanizado, como torneado y fresado

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### c. PLACA DE ALUMINIO 6061

Comúnmente encontrada en los mercados ecuatorianos, de bajo costo y bajo nivel de mecanizado. Véase el Cuadro. 2.9: Descripción de la placa de aluminio 6061

**Cuadro. 2.9: Descripción de la placa de aluminio 6061**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee gran maleabilidad.</li> <li>• Su costo es bajo</li> <li>• Es un material muy común en el país</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee ligeramente más peso que las fibras compuestas</li> <li>• Con el uso, este material se fatiga fácilmente.</li> </ul>	<p>Es un material muy común, al ser una lámina es fácilmente moldeado.</p> <p>Posee una resistencia adecuada y tiene relativamente bajo peso.</p>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### d. SOLUCIÓN TOMADA

Placa de aluminio 6061 de 3mm.

- Bajo costo
- No requiere procesos de mecanizado complejos
- Su ancho facilita su instalación junto con el volante homologado y la sujeción de los pulsadores.
- Bajo peso

El diseño propuesto contempla simplicidad y ergonomía, cumpliendo los objetivos de diseño propuestos, observe la Figura. 2.4: Prototipo de volante y sus pulsadores



**Figura. 2.4: Prototipo de volante y sus pulsadores**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

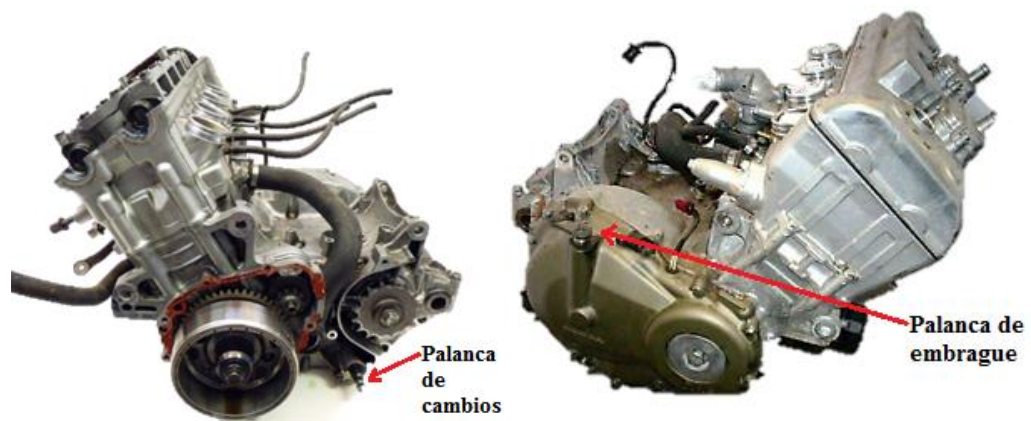
## **2.7 DISEÑO DEL SISTEMA ACTUADOR PARA LA CAJA DE CAMBIOS Y EMBRAGUE**

El vehículo prototipo de competencia Formula SAE es un monoplace que debe regirse a las más altas normas de calidad en diseño, esto provoca que exista un análisis profundo para encontrar la posición ideal para cualquier elemento, que no interrumpa a otros sistemas diseñados como el aerodinámico, distribución de peso, tren motriz, suspensiones y otros.

Un sistema es considerado mejor, cuando este ocupa el menor espacio posible, mínima cantidad de piezas, posee un bajo costo y poco peso. Varias opciones se han considerado para cada etapa de diseño.

Para poder dar inicio al diseño de actuadores y su posición es necesario empezar con la visualización de los elementos donde debe existir actuación, su posición y su movimiento. Véase la Figura. 2.5: Posición de la palanca de cambios y palanca de embrague





**Figura. 2.5: Posición de la palanca de cambios y palanca de embrague**

Fuente: Fotografía hecha pública por “Artículos de venta eBay”, Extraída el 12 mayo 2014.  
 URL: <http://www.ebay.com/itm/2002-HONDA-CBR600-F4I-CBR-600-F4I-ENGINE-MOTOR-TRANS-p-/220407003245>

Modificado y editado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### **2.7.1 REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA ACTUADOR DE LA CAJA DE CAMBIOS**

Este es un sector muy importante de este estudio, es el principal factor que debe cumplir su funcionamiento. En este debe existir un mecanismo capaz de presionar la palanca en sentido horario y en sentido anti horario. La palanca requiere de un movimiento definido hasta un punto para realizar el cambio de velocidad. A continuación se describen varios requerimientos que el sistema y actuador deben poseer:

- Provocar movimiento en sentido horario y anti horario a la palanca.
- Cumplir con el movimiento mínimo requerido para el cambio de marcha.
- Tener preferentemente alimentación de 12v.
- Alcanzar en el menor espacio posible.
- Vencer el torque de 6,9 Nm.

## 2.7.2 OPCIONES EXISTENTES PARA LA SELECCIÓN DEL ACTUADOR DE LA CAJA DE CAMBIOS

Respetando los requerimientos anteriormente dichos a continuación se enumeran las opciones que serán analizadas para su posible uso en el sistema.

### a. SERVOMOTOR DE AEROMODELISMO

Es un motor con engranes auto controlado con alta velocidad de respuesta, se alimenta de 5V generalmente y existe gran variedad respecto a tamaño, torque y velocidad. Su sujeción es de materiales plásticos incluidos en su carcasa.

Instalado sobre la palanca de cambios, sobre una base que lo sostenga, requiere un acondicionamiento de voltaje para su conexión. Para una mayor descripción referirse al Cuadro. 2.10: Descripción servomotor aeromodelismo

**Cuadro. 2.10: Descripción servomotor aeromodelismo**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta velocidad</li> <li>• Alto nivel de control</li> <li>• Tamaño compacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El voltaje de alimentación no es adecuado</li> <li>• Dificultad para unirse con la estructura</li> </ul>	<p>Su forma cuadrada dificulta su posicionamiento. Su velocidad es aceptable, pero los accesorios poseen una muy poca robustez</p>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### b. SOLENOIDE ELÉCTRICO

Es un elemento que se activa al momento de existir una corriente eléctrica por su bobinado, el cual impulsa un eje momentáneamente en un sentido u otro. Su movimiento es sumamente rápido y su potencia depende de su fabricación y datos técnicos.

Se lo usaría conectado directamente a la palanca de cambios para que al ser accionado este aplique la fuerza para meter la marcha. No puede controlarse su posición. Observe el Cuadro. 2.11: Descripción solenoide eléctrico

**Cuadro. 2.11: Descripción solenoide eléctrico**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy alta velocidad</li> <li>• Tamaño compacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto consumo de energía</li> <li>• No posee control en su movimiento y distancia</li> </ul>	<p>Posee un alto consumo de energía y al no poseer ningún tipo de control de posición, dificulta la comprobación del cambio de marcha.</p>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### c. PISTÓN NEUMÁTICO

Es un actuador lineal, que requiere de aire comprimido y válvulas para su accionamiento, su potencia, velocidad y fuerza dependen de su configuración.

Por medio de la presión del aire se lo activaría para que de su impulso y lo transfiera a la palanca de cambio. Requiere de un compresor, cañerías y sus válvulas controladoras. No posee control de posición. Cuadro. 2.12: Características pistón neumático

**Cuadro. 2.12: Características pistón neumático**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy alta velocidad</li> <li>• Tamaño compacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de un compresor, un tanque reservorio, cañerías y válvulas.</li> <li>• No posee control en su movimiento y distancia</li> </ul>	<p>Al requerir de doble efecto, se requeriría un control complicado. Tiene un límite de actuaciones, pues su reservorio se agota. No se puede comprobar si se realizó el cambio de marcha, porque el motor no posee sensor de marcha.</p>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

#### d. MOTOR ELÉCTRICO DC LINEAL

Es un motor con una caja reductora que convierte el giro del motor en un movimiento lineal a un eje o pistón. Este se alimenta de 12V y posee bases intercambiables para su instalación.

Conectado directamente a la palanca de cambios, a parte de su controlador no requiere de conexiones, ni elementos extras. Cuadro. 2.13: Características motor eléctrico DC lineal

**Cuadro. 2.13: Características motor eléctrico DC lineal**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena velocidad</li> <li>• Tamaño compacto</li> <li>• Posee retroalimentación de posición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de una modificación en la palanca de cambios para aprovechar bien su energía</li> </ul>	<p>Debe ser aprovechada su fuerza reduciendo el tamaño de la palanca para una actuación más rápida, la retroalimentación de posición garantiza el alcance de la nueva marcha. Al ser un motor DC se lo puede cambiar de sentido fácilmente.</p>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

#### e. ELEMENTO SELECCIONADO

Motor eléctrico DC lineal

- Posee un controlador fácilmente adaptable.
- Es posible controlar su velocidad y su posición.
- Es de fácil instalación e implementación.
- Su velocidad es de 1,3 cm/s.
- Carga dinámica de 50 Kg.

Obsérvese la Figura. 2.6: Motor eléctrico DC lineal



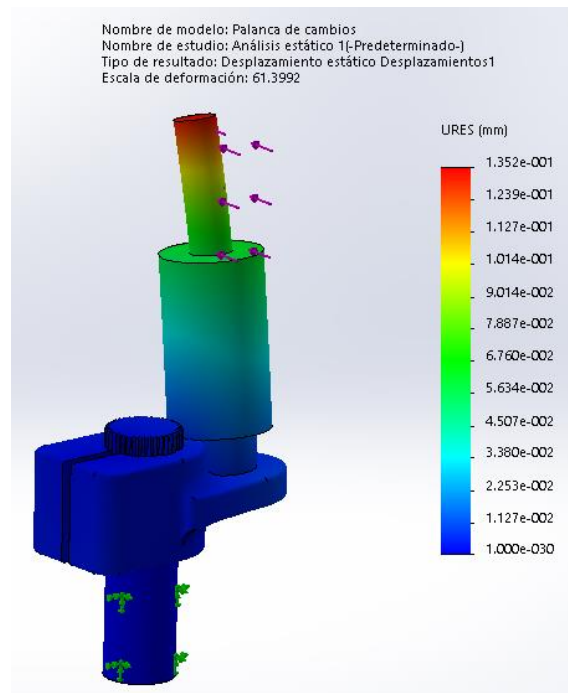
**Figura. 2.6: Motor eléctrico DC lineal**

Fuente: (Pololu, 2014), Linear Actuators.  
URL: <http://www.pololu.com/product/2302>

### **2.7.3 SUJECIÓN MECÁNICA DEL ACTUADOR DE LA CAJA DE CAMBIOS**

Obsérvese la Figura. 2.7: Desplazamiento estático para la sujeción en la palanca de caja de cambios. Donde se muestra la sujeción del actuador a la palanca de cambios.

- Torque de la palanca de cambios: 6,9 Nm
- Distancia de aplicación de fuerza de la palanca de cambios: 14 mm
- Tiempo mínimo de actuación del embrague: 0,344 seg



**Figura. 2.7: Desplazamiento estático para la sujeción en la palanca de caja de cambios.**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

#### 2.7.4 REQUERIMIENTOS PARA EL ACTUADOR EN EL EMBRAGUE

Para accionar el embrague en el vehículo, es necesario separar los discos de embrague, este motor incluye un embrague de discos múltiples en el compacto del motor, entonces se debe actuar sobre su palanca externa, la que realiza un movimiento giratorio en sentido horario para ser accionado y en su posición natural se encuentra desactivado. Este mantiene los siguientes requerimientos:

- Provocar movimiento circular en sentido horario
- Vencer un torque de 8,1 Nm.
- Tener preferentemente alimentación de 12v.
- Alcanzar en el menor espacio posible.
- Tener un movimiento controlable respecto a su velocidad y posición

## 2.7.5 OPCIONES EXISTENTES PARA EL ACTUADOR EN EL EMBRAGUE

### a. MOTOR PASO A PASO

Es un motor eléctrico de corriente continua que por su configuración puede ser controlado en ángulos de movimiento.

Su instalación requiere de una base que lo sostenga sobre la palanca de embrague, su control requiere de varios cables para alimentar, no posee retroalimentación de posición. Véase el Cuadro. 2.14: Características motor paso a paso

**Cuadro. 2.14: Características motor paso a paso**

ELEMENTO	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
Motor paso a paso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventajas</li> <li>• Buen control de movimiento</li> <li>• Tamaño compacto</li> <li>• Desventajas</li> <li>• Requiere de un control algo complejo.</li> <li>• No posee retroalimentación de posición aunque puede ser asumida</li> </ul>	<p>Varios equipos internacionales utilizan este dispositivo. El voltaje debe ser el adecuado. Requiere de mecanismos de acoplamiento.</p>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### b. SISTEMA HIDRÁULICO

Su instalación es directa a la palanca de embrague, mediante un pistón hidráulico al ser alimentado y accionado activaría el embrague, por medio de una válvula electromecánica, una bomba y su controlador, no puede controlarse su velocidad ni

posición, requiere de cañerías, depósito de almacenamiento de fluido y una compleja instalación.

### **c. MOTOR ELÉCTRICO DC LINEAL**

Su instalación es directa, no requiere acondicionamientos a parte mediante su controlador. Refiérase al Cuadro. 2.13: Características motor eléctrico DC lineal.

### **d. ELEMENTO SELECCIONADO**

Motor eléctrico DC lineal. Obsérvese la Figura. 2.6: Motor eléctrico DC lineal

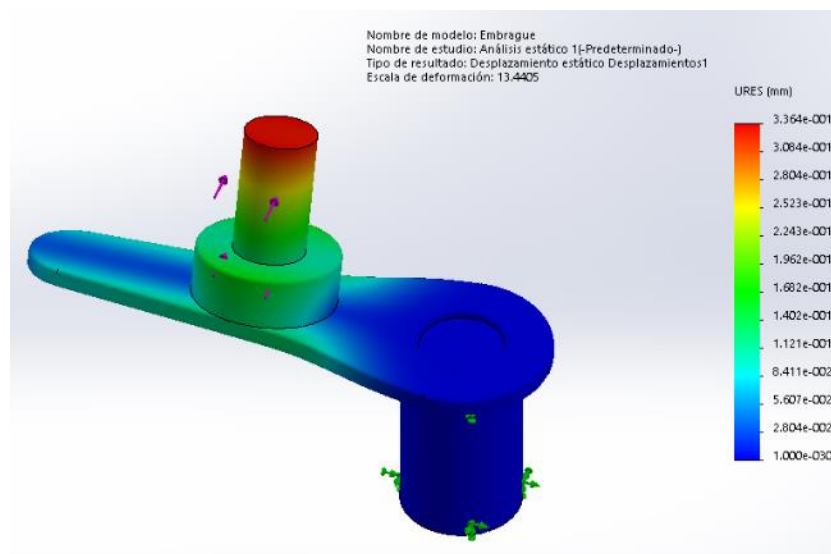
- Puede controlar la velocidad y activación del embrague
- Es fácilmente programable para accionar la palanca de manera adecuada.
- Posee retroalimentación de posición
- Su alimentación es ideal; de 12 V
- Carga dinámica 50 Kg.
- Velocidad 1,3 cm/s.

### **2.7.6 SUJECIÓN MECÁNICA DEL ACTUADOR EN EL EMBRAGUE**

Obsérvese la Figura. 2.8: Desplazamiento estático de la sujeción de la palanca de embrague donde se muestra la sujeción del actuador a la palanca de embrague.

- Torque de accionamiento del embrague: 8,1 Nm
- Distancia de aplicación de fuerza del embrague: 17 mm
- Tiempo mínimo de actuación del embrague: 0,89 seg





**Figura. 2.8: Desplazamiento estático de la sujeción de la palanca de embrague**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## 2.8 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Dentro del sistema eléctrico y electrónico del sistema que propone este estudio, se encuentran varios sensores incluidos en el motor que deben ser analizados indispensablemente, también existen variables que solamente son requeridas para el panel de instrumentos, como luces indicadoras de protección.

Los sensores y variables que serán analizadas e involucradas en el sistema que propone este estudio son las siguientes.

- Revoluciones del motor
- Velocidad de salida de la caja de transmisión
- Posición del embrague
- Posición de la palanca de cambios

Los sensores complementarios para el panel de instrumentos son

- Temperatura del refrigerante
- Presión de aceite

A continuación se analizarán las características de los sensores incluidos en el motor, para posteriormente poder medirlos y acondicionarlos.

### 2.8.1 SENSOR DE REVOLUCIONES DEL MOTOR

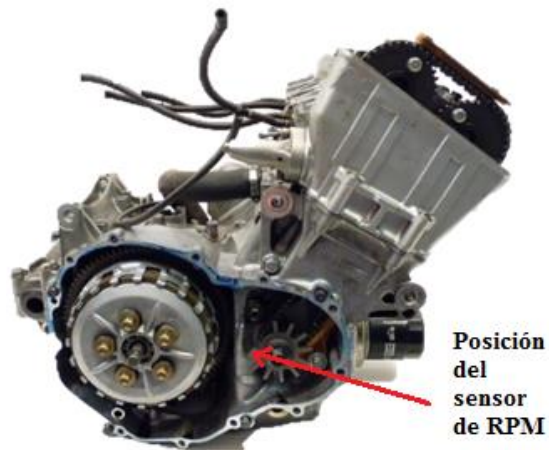
También conocido como CKP (crankshaft position) sensor de posición del cigüeñal, este es un sensor situado dentro del compartimiento del embrague de efecto Hall, es de clase inductivo. Su instalación en el motor es interna, este se encuentra junto con una rueda dentada la que está unida por medio de una cadena al eje motor, a medida que los pistones cumplen una revolución, directamente se transfiere el movimiento a esta rueda, para ser medido por el sensor inductivo, este también se encarga de la temporización en la ignición de las bujías. Para mayor información véase el Cuadro. 2.15: Características del sensor de revoluciones

<b>Cuadro. 2.15: Características del sensor de revoluciones</b>	
<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>TIPO</b>
<b>Señal de salida</b>	Variación de voltaje
<b>Número de cables</b>	2
<b>Rango de salida</b>	0-10V
<b>Posición en el motor</b>	Compartimento de embrague
<b>Generalidades de conexión</b>	Conexión directa a la ECU, medición recomendada, sin referencia a tierra.

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Como se había descrito anteriormente, la posición del sensor inductivo de RPM del motor se encuentra situado dentro del compartimento de embrague junto a la rueda

dentada que provoca las mediciones como se muestra en la Figura. 2.9: Posición sensor RPM CKP



**Figura. 2.9: Posición sensor RPM CKP**

Fuente: Fotografía hecha pública por “Artículos de venta eBay”, Extraída el 12 mayo 2014.  
URL: <http://www.ebay.com/itm/2002-HONDA-CBR600-F4I-CBR-600-F4I-ENGINE-MOTOR-TRANS-p-/220407003245>  
Modificado y editado por: Gordillo, X. y Lara, L.

El sensor de revoluciones posee conexión total a la ECU del vehículo, se recomienda una medición sin referencia a tierra, por la razón que esta podría alterar las mediciones realizadas en la ECU. Es necesario reconocer al sensor y sus partes, observe la Figura. 2.10: Sensor de revoluciones y sus partes



**Figura. 2.10: Sensor de revoluciones y sus partes**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## 2.8.2 SENSOR DE RPM SECUNDARIO O RPM DE ÁRBOL DE LEVAS

También conocido como CMP (Camshaft Position Sensor) sensor de posición de árbol de levas, es un sensor de efecto Hall muy similar al sensor de velocidad de la motocicleta, este se encarga de medir la velocidad de giro del árbol de levas del motor, es decir que por cada pulso que este entregue es equivalente a 2 RPM del motor. No se encuentra conectado a la ECU del motor, es fácilmente leído por frecuencia y entrega una frecuencia menor al sensor de rpm anteriormente descrito. Para mayor información véase el Cuadro. 2.16: Características del sensor RPM de árbol de levas

**Cuadro. 2.16: Características del sensor RPM de árbol de levas**

CARACTERÍSTICA	TIPO
<b>Señal de salida</b>	Variación de voltaje
<b>Número de cables</b>	3 (Vcc, Sign, GND)
<b>Rango de salida</b>	0-10V
<b>Posición en el motor</b>	En el caparazón del motor sobre el filtro de aceite
<b>Generalidades de conexión</b>	Sin conexión a la ECU, manipulación libre.

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

La posición del sensor se la puede observar en la Figura. 2.11: Posición del sensor CMP



**Figura. 2.11: Posición del sensor CMP**

Fuente: Fotografía hecha pública por “Artículos de venta eBay”, Extraída el 12 mayo 2014.  
URL: <http://www.ebay.com/itm/2002-HONDA-CBR600-F4I-CBR-600-F4I-ENGINE-MOTOR-TRANS-p-/220407003245>

Modificado y editado por: Gordillo, X. y Lara, L.

El sensor se encuentra ubicado muy cercano a la parte superior del motor que es donde se encuentra la barra de levas y su medición es directa a esta, posee un perno de sujeción y un sellado hermético, un cable con cobertura de plástico que lo protege del agua y del calor. Obsérvese la Figura. 2.12: Sensor CMP



**Figura. 2.12: Sensor CMP**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### 2.8.3 SENSOR DE VELOCIDAD

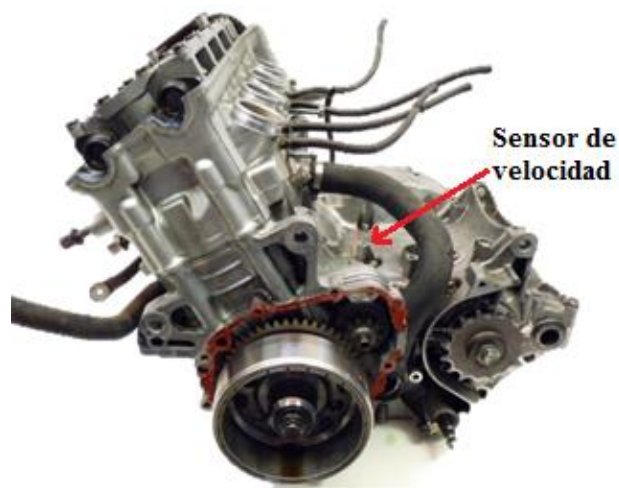
Este es un sensor inductivo, que se encuentra ubicado sobre la caja de cambios, sobre la carcasa del motor, es de fácil acceso, fácil conexión y desconexión. El principio de funcionamiento de este se basa en el número de dientes que posee el engrane de salida de la caja de cambios, al girar las ruedas del vehículo, este generará un número de pulsos correspondientes al número de dientes que existan en el engrane final de la caja de cambios. Este sensor no posee conexión alguna con otros dispositivos del vehículo y puede ser manipulado con total libertad. Para mayor información véase el Cuadro. 2.17: Características del sensor de velocidad.

**Cuadro. 2.17: Características del sensor de velocidad.**

CARACTERÍSTICA	TIPO
<b>Señal de salida</b>	Variación de voltaje
<b>Número de cables</b>	3 (Vcc, Sign, GND)
<b>Rango de salida</b>	0-10V
<b>Posición en el motor</b>	Sobre la caparazón de la caja de cambios
<b>Generalidades de conexión</b>	Sin conexión a la ECU, manipulación libre.

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

La posición del sensor se la puede observar en la Figura. 2.13: Posición del sensor de velocidad



**Figura. 2.13: Posición del sensor de velocidad**

Fuente: Fotografía hecha pública por “Artículos de venta eBay”, Extraída el 12 mayo 2014.  
URL: <http://www.ebay.com/itm/2002-HONDA-CBR600-F4I-CBR-600-F4I-ENGINE-MOTOR-TRANS-p-/220407003245>  
Modificado y editado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Obsérvese que el sensor posee una cobertura plástica y hermética, con 2 pernos de sujeción a la carcasa de la caja de cambios, pose un cable con 3 hilos de diferentes colores y apunta justamente a los dientes del engrane motriz final, se deberán realizar las conversiones de relación de engranes, numero de dientes vs velocidad para una precisa medición, véase la Figura. 2.14: Sensor inductivo de velocidad incluido en el motor



**Figura. 2.14: Sensor inductivo de velocidad incluido en el motor**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## 2.8.4 SWITCH DE NEUTRO

Incluido en el motor se encuentra un switch de neutro el cual se activa cuando la posición o marcha neutral es alcanzada. Este puede ser utilizado como guía para conocer en qué momento llegó a posición neutral y como guía para el movimiento de las marchas. Se encuentra situado sobre la palanca de cambios, bajo la catalina o piñón de la cadena de transmisión. Véase la Figura. 2.15: Switch de neutro y la Figura. 2.16: Localización switch de neutro

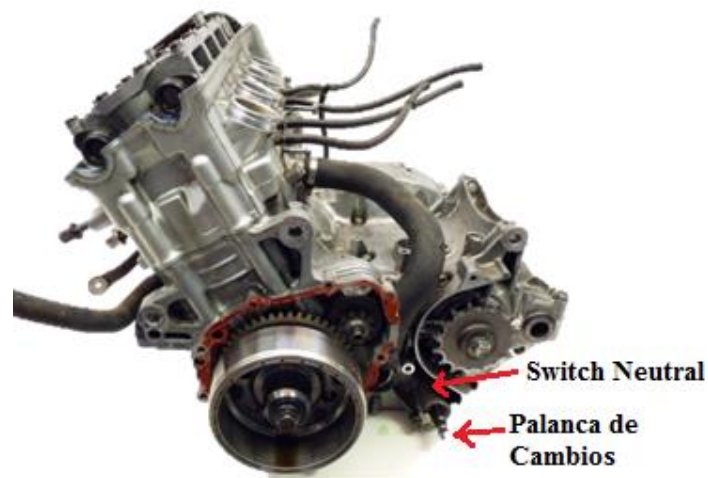


**Figura. 2.15: Switch de neutro**

Fuente: Fotografía hecha pública por “Artículos de venta eBay”, Extraída el 12 mayo 2014.  
URL: <http://www.ebay.com/itm/2002-HONDA-CBR600-F4I-CBR-600-F4I-ENGINE-MOTOR-TRANS-p-/220407003245>

Modificado y editado por: Gordillo, X. y Lara, L.





**Figura. 2.16: Localización switch de neutro**

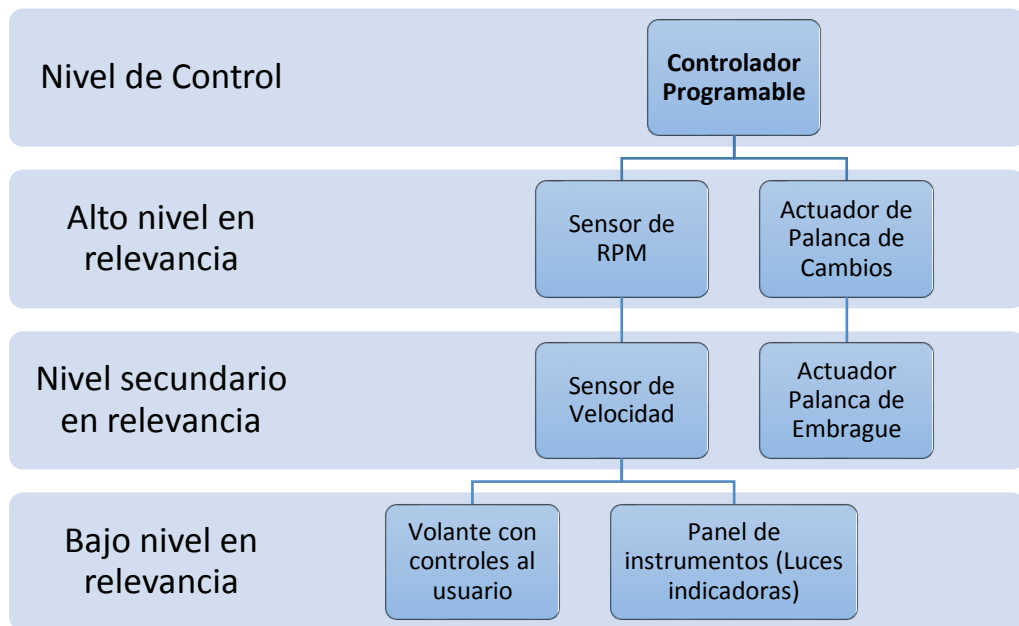
Fuente: Fotografía hecha pública por “Artículos de venta eBay”, Extraída el 12 mayo 2014.  
URL: <http://www.ebay.com/itm/2002-HONDA-CBR600-F4I-CBR-600-F4I-ENGINE-MOTOR-TRANS-p-/220407003245>

Modificado y editado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### **2.8.5 ORGANIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA**

Después de haber analizado todos los requisitos de cada uno de los elementos del sistema, se han creado varios organigramas y métodos de organización de los sensores y actuadores para poder ser controlados de manera eficiente.

Varias propuestas de diseño que han sido consideradas, dan como pauta, dar prioridad a los sensores, posteriormente a los actuadores y al final a los elementos de control y visualización. Véase la Figura. 2.17: Organigrama de elementos del sistema



**Figura. 2.17: Organigrama de elementos del sistema**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

#### **a. NIVEL DE CONTROL**

En este nivel se incluye a todo el equipo o elemento utilizado para controlar todo el sistema, el cual es programable y reconfigurable para calibración del sistema.

#### **b. ALTO NIVEL EN RELEVANCIA**

Los elementos incluidos en este grado de jerarquía son obligatoriamente requeridos para el funcionamiento del sistema, en caso que uno de estos elementos no sea tomado en cuenta, o exista desconexión el sistema no funcionará.

### **c. NIVEL SECUNDARIO EN RELEVANCIA**

Son elementos requeridos para el funcionamiento óptimo del sistema, en el caso que uno de estos no fuese tomado en cuenta o presentara desconexión el sistema mantendrá su funcionamiento, pero con posibles fallas y desperdicios en energía.

### **d. BAJO NIVEL EN RELEVANCIA**

Son elementos no indispensables para que el sistema cambiador de marchas inteligente funcione, excluyendo al volante con control de usuario el sistema puede funcionar al 100%, los botones de control no son necesarios para todas las formas de funcionamiento del sistema.

## **2.9 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL CONTROLADOR**

Para la selección de un controlador óptimo, que funcione correctamente y que sea flexible para futuras adecuaciones y usos, se describirán los requerimientos que este debe poseer para poder ser utilizado.

### **2.9.1 NUMERACIÓN DE CONEXIONES REQUERIDAS CON LOS DISPOSITIVOS**

Cada elemento y dispositivo anteriormente analizado posee sus controles y puertos de comunicación, el sistema controlador deberá poseer la cantidad suficiente de entradas y salidas para administrar los elementos. Véase el Cuadro. 2.18: Entradas y salidas totales de los elementos del sistema

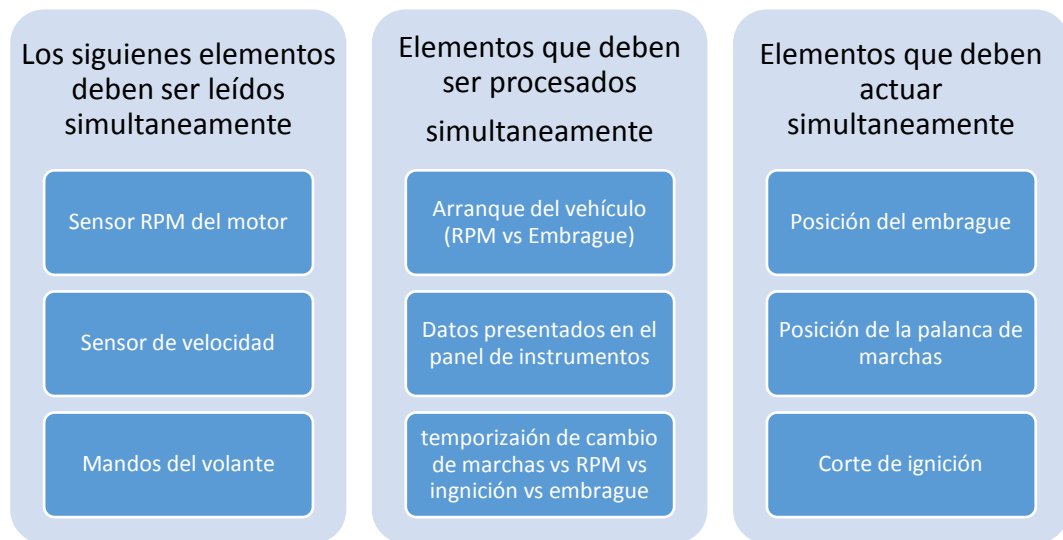
**Cuadro. 2.18: Entradas y salidas totales de los elementos del sistema**

ELEMENTO	No. ENTRADAS	No. SALIDAS	TIPO
<b>Retroalimentación posición actuadores (Marchas, Embrague)</b>	2		Analógicas
<b>Drivers de control actuadores</b>		2	Analógicas
<b>Switch neutral</b>	1		Digital
<b>Sensor RPM</b>	1		Analógica sin referencia a tierra (Diferencial)
<b>Sensor velocidad</b>	1		Analógica
<b>Sensor presión de aceite</b>	1		Digital
<b>Corte de ignición</b>		1	Digital
<b>Comunicación panel de control (Instrumentos, volante e indicadores)</b>		13	Bus de datos

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## 2.9.2 PROCESO DE FUNCIONAMIENTO

En este espacio se explica el funcionamiento ideal que debe poseer el control, para que el sistema funcione adecuadamente. En la Figura. 2.18: Procesos requeridos para el funcionamiento se explica el orden del proceso a realizarse en la programación y control del sistema.



**Figura. 2.18: Procesos requeridos para el funcionamiento**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### 2.9.3 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

La selección del controlador es la parte más importante de todo el sistema, de este depende su buen funcionamiento. Y como observaciones se tienen las siguientes:

- Debe poseer al menos 15 salidas digitales y analógicas
- Debe poseer al menos 6 entradas digitales y analógicas
- Debe contar por lo menos con un canal diferencial de lectura
- Debe ser capaz de realizar un sin número de procesos simultáneamente
- Debe ser capaz de leer variables en tiempo real

### 2.9.4 OPCIONES PARA SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Recalcando los objetivos de la competencia donde explican que es necesario innovar, utilizar elementos de bajo costo y que tengan una gran flexibilidad se redujo la selección de elementos al siguiente.

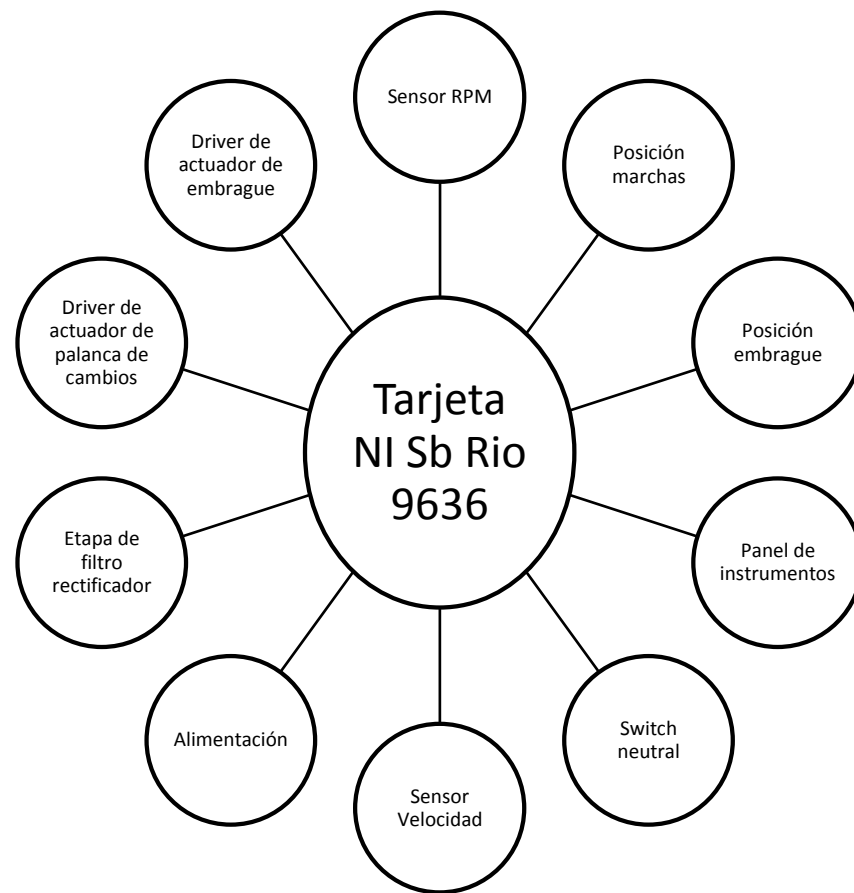
Tarjeta de National Instruments SINGLE BOARD RIO 9636. Por los siguientes motivos observe la Figura. 1.12: Tarjeta Sb Rio 9636

- Bajo costo a nivel estudiantil
- Posee un procesador Real-Time y un FPGA capaces de realizar tareas a tiempo real y simultáneamente.
- Alta flexibilidad para aplicaciones industriales.
- Cumple con el número de entradas y salidas requeridas

Para mayor información refiérase a Capítulo I; 1.4 SISTEMAS REAL-TIME Y FPGA.

## **2.10 ARQUITECTURA Y CONEXIÓN DEL SISTEMA**

El sistema posee una gran variedad de conexiones a respetar que se las detallan en orden de agrupamiento y funcionalidad, en la Figura. 2.19: Arquitectura de conexiones de los elementos del sistema se resume el diagrama de conexiones del sistema que propone este estudio.



**Figura. 2.19: Arquitectura de conexiones de los elementos del sistema**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

## **CAPÍTULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS**

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas para la implementación del sistema eléctrico y electrónico del sistema, este sector se lo ha colocado en pruebas e implementación pues solamente con el sistema construido se podría identificar las variaciones y lecturas electrónicas de los sensores del motor requeridos. Varios parámetros son considerados una vez encendido el motor del vehículo para las pruebas y calibraciones del sistema. Estos parámetros son los siguientes:

- Variación del voltaje de alimentación.
- Ruidos y rangos de mediciones de los sensores.
- Frecuencias y pulsos entregados por los sensores.
- Velocidad de corrido de programa.
- Velocidad y movimientos adecuados para el embrague y la palanca de marchas.
- Robustez y seguridad de la programación de funcionamiento

#### **3.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO**

Posterior al análisis, selección de los elementos y conexión se requiere la instalación final del sistema, considerando las mejoras de programación y funcionamiento para este. A continuación se describen las rutas de conexión y orden de los elementos.



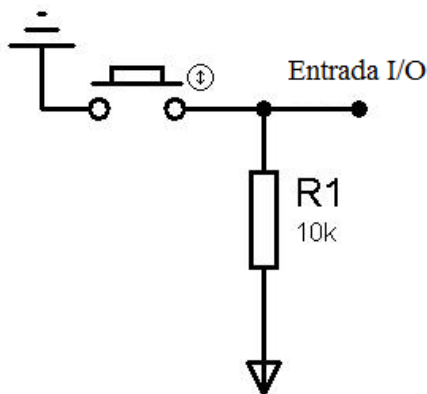
## 3.2 ELEMENTOS DE ENTRADA

Son todos los elementos que deben ser leídos por el sistema, para variar su operación

### 3.2.1 PULSADORES DEL VOLANTE

Son los elementos de mayor importancia del sistema, los que indican en qué momento se debe realizar el cambio de marcha y en qué sentido debe realizarse, es decir: si las marchas deben subir o deben bajar. Véase la Figura. 2.4: Prototipo de volante y sus pulsadores

La conexión necesaria para el funcionamiento de estos pulsadores es de tipo lógico, mediante resistencias, como se observa en la Figura. 3.1: Conexión pulsadores volante



**Figura. 3.1: Conexión pulsadores volante**

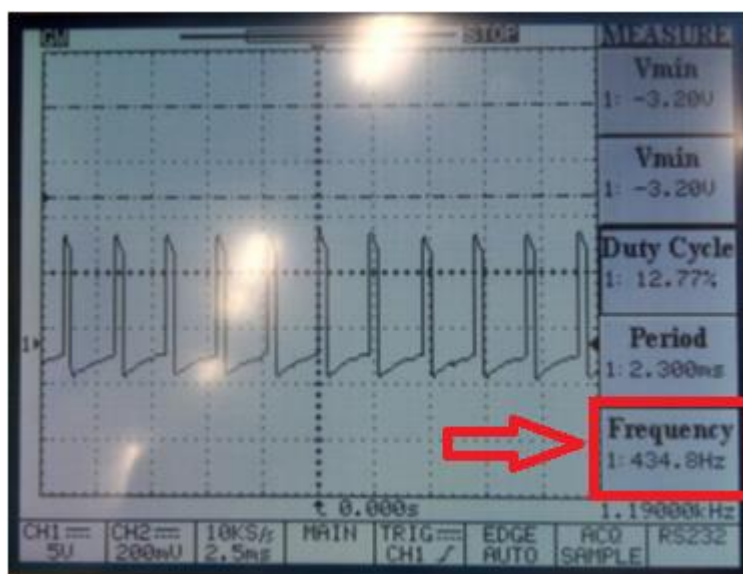
Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Mediante la conexión realizada se logra una señal digital fácilmente leída por la tarjeta de control, al momento de ser pulsado entrega una señal 0 lógico y al ser soltado entrega 1 lógico.

### 3.2.2 SENSOR DE RPM

Para la adquisición de las RPM del motor se ha seleccionado el sensor CMP, este no posee conexión con la ECU del motor y entrega una frecuencia más baja comparando con el sensor CKP, de esta manera se optimiza el procesamiento de este dato. Tómese en cuenta que gracias a la resolución de la tarjeta controladora Sb Rio no requiere acondicionamiento y este puede ser conectado directamente a las entradas analógicas de la tarjeta.

Antes de cualquier adquisición se procede a una medición con el osciloscopio para comparar y conocer la señal otorgada por el sensor, se calcula el valor de la frecuencia y se lo transforma a revoluciones por minuto, tomando en cuenta que 60 RPM es un Hz y que cada revolución equivale a dos pulsos. Diríjase a la Figura. 3.2: Frecuencia de salida del sensor CMP



**Figura. 3.2: Frecuencia de salida del sensor CMP**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Como se conoce que por cada pulso entregado equivale a 2 revoluciones del motor entonces se puede decir que la fórmula para calcular las RPM es la siguiente:

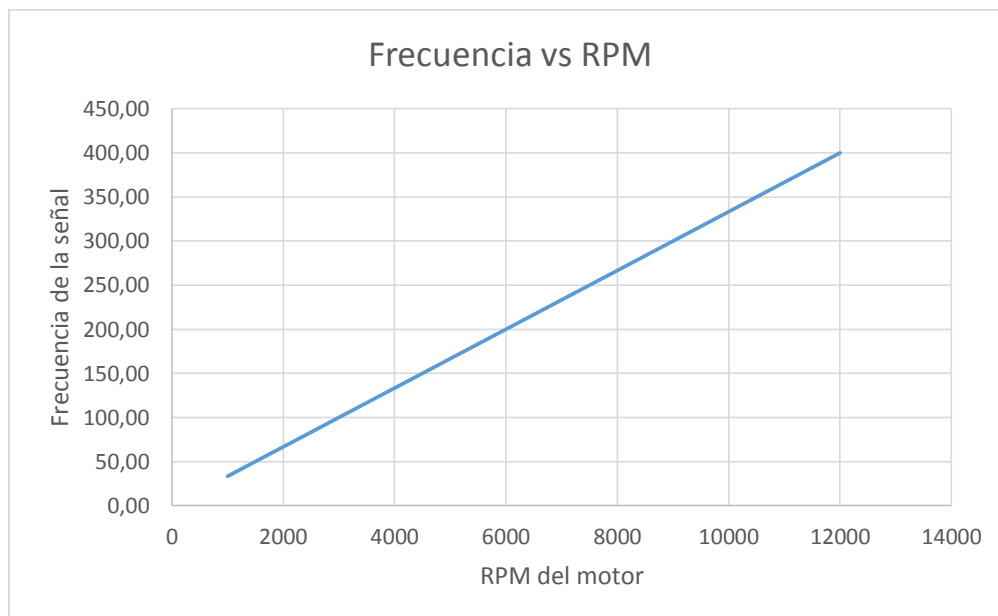
$$RPM = 30 \times f \quad \text{Ec: 3.1}$$

Basándose en la Figura. 3.2: Frecuencia de salida del sensor CMP, se puede decir que las RPM del motor en ese instante son:

$$RPM = 30 \times \left( 434.8 \times \frac{1}{s} \right)$$

$$RPM = 13044$$

Al ser una ecuación lineal y proporcional se puede comprobar el gráfico obtenido con las mediciones del osciloscopio y sus comparaciones con los datos reales. Véase la Figura. 3.3: Frecuencia vs RPM del motor



**Figura. 3.3: Frecuencia vs RPM del motor**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

En caso de ser requerido, existe un elemento agregado que podrá ser conectado y unido al sistema, el cual se lo conoce como LM2907 que es un convertor de frecuencia a voltaje, este evita el procesamiento de una señal variable en el tiempo, para convertirla en una señal que simplemente varíe su voltaje, a mayor frecuencia, mayor voltaje de salida.

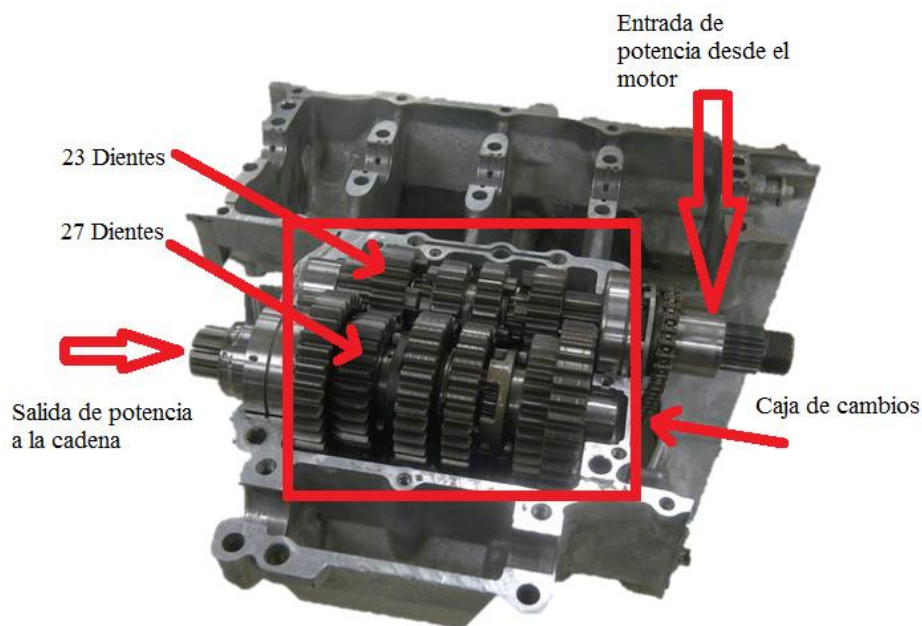
### **3.2.3 SENSOR DE VELOCIDAD**

Este sensor al ser muy similar al de RPM mantendrá una configuración muy similar, su conexión es directa y no requiere acondicionamiento, puede ser leído directamente por las entradas analógicas de la tarjeta.

Al encontrarse situado sobre uno de los engranes de la caja de cambios, se deben tomar en cuenta los datos mecánicos de transferencia entre engranes, cadena y posteriormente la llanta.

- 23 Dientes en el engrane medido donde se encuentra el sensor
- 27 Dientes en el engrane conducido
- Salida de 11 dientes en el piñón de la cadena
- Rueda dentada de 49 dientes
- Salida final, 20.9 pulgadas de diámetro de la llanta.
- Calculo final 120 pulsos en el sensor por cada rotación de la llanta.

Para mejor comprensión véase la Figura. 3.4: Vista interna de la caja de cambios y engranes medidos por el sensor de velocidad



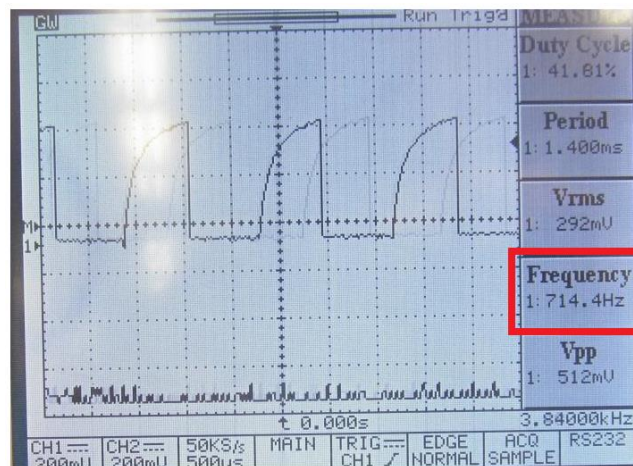
**Figura. 3.4: Vista interna de la caja de cambios y engranes medidos por el sensor de velocidad**

Fuente: (HONDA MOTORS, 2003), Internal Gearbox.  
Modificado y editado por: Gordillo, X. y Lara, L.

De igual forma que el sensor de RPM este debe ser analizado previamente con el osciloscopio para tomar en cuenta su señal de salida, frecuencia y conversión a velocidad. Como se observa en la Figura. 3.5: Lectura del osciloscopio de la señal del sensor de velocidad.

**Figura. 3.5: Lectura del osciloscopio de la señal del sensor de velocidad.**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L



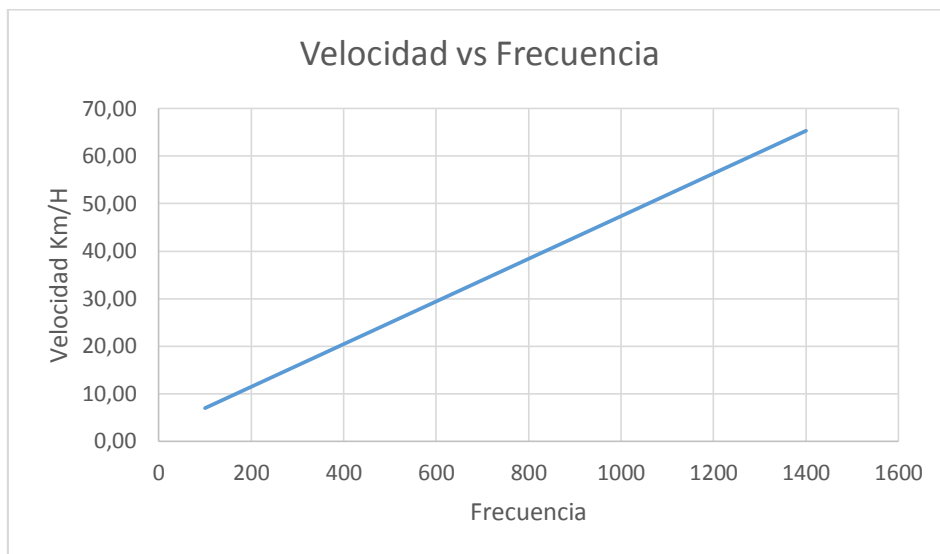
**Figura. 3.5: Lectura del osciloscopio de la señal del sensor de velocidad.**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L

Donde después de analizar la Figura. 3.6: Velocidad vs Frecuencia Se puede deducir la fórmula de velocidad vs frecuencia de la siguiente manera.

$$V = (f + 55.645)/(22.285) \quad \text{Ec: 3.2}$$

Como se observa en la ecuación es una respuesta lineal y que puede ser representada como se muestra en la Figura. 3.6: Velocidad vs Frecuencia



**Figura. 3.6: Velocidad vs Frecuencia**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

De la misma manera que el sensor de RPM del motor este puede ser leído en caso de ser necesario por el circuito integrado LM2907, el cual es un conversor de frecuencia a voltaje.

### 3.2.4 SENSORES DE POSICIÓN PARA LOS MOTORES DC LINEALES

Como anteriormente se los había estudiado, los actuadores o motores DC lineales poseen retroalimentación de posición, los cuales poseen las siguientes características:

- Medidos por un potenciómetro lineal de precisión de 10 KOhm
- Contacto del potenciómetro mediante carbones
- Directamente proporcional la posición del pistón vs la resistencia del potenciómetro
- Posee 3 cables de conexión Vcc, GND y señal.

Para el control seleccionado para este sistema se requiere una medición precisa de la posición de los actuadores, por el motivo que, el movimiento debe ser justo y preciso para evitar tiempos muertos y sobre esfuerzos.

Los potenciómetros no pueden ser visualizados y se encuentran dentro de la carcasa del pistón. Pero pueden ser analizados como se muestra a continuación en el Cuadro. 3.1: Análisis de los potenciómetros de posición de los actuadores DC

**Cuadro. 3.1: Análisis de los potenciómetros de posición de los actuadores DC**

CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
<b>Contacto por carbones</b>	Produce ruido al movilizarse, es recomendable filtrar la señal, pues esta varía al existir movimiento.
<b>Precisión de lectura</b>	Al mantenerse estático las lecturas son muy precisas y exactas
<b>Alimentación</b>	Estos pueden alimentarse de 1V a 32V por recomendación del fabricante.

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

#### **a. SOLUCIÓN RECOMENDADA PARA RUIDO OCASIONADO POR LOS CARBONES**

Las mediciones deben realizarse de la forma más eficiente posible, por esto se ha encontrado un filtro básico para proteger y mejorar la señal de los motores, este consiste en promediar las últimas 20 lecturas del potenciómetro para de esta forma lograr una señal de salida más limpia. Véase el Cuadro. 3.2: Ventajas y desventajas del filtrado por promedio de datos



**Cuadro. 3.2: Ventajas y desventajas del filtrado por promedio de datos**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo consumo de recursos</li> <li>• Alta velocidad de procesamiento</li> <li>• Señal de salida aceptablemente limpia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Señal de salida con retraso</li> <li>• En casos de necesidad de cambios bruscos provoca un error de desfase.</li> </ul>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Otro tipo de filtros fueron probados y no fueron seleccionados, puesto que su consumo de recursos era muy alto.

### 3.3 ELEMENTOS DE SALIDA O ELEMENTOS A CONTROLAR

Estos son todos los elementos que requieren ser controlados desde la tarjeta después del procesamiento de los datos de entrada. Varios algoritmos de control y circuitos electrónicos serán necesarios para el buen funcionamiento de los elementos.

Antes de analizar los tipos de control que requiere el vehículo es necesario determinar el funcionamiento del sistema cambiador de marchas inteligente.

Por el momento se proponen 3 tipos de funcionamiento los cuales pueden o serán fusionados según la conveniencia del usuario o del sistema. Los métodos son:

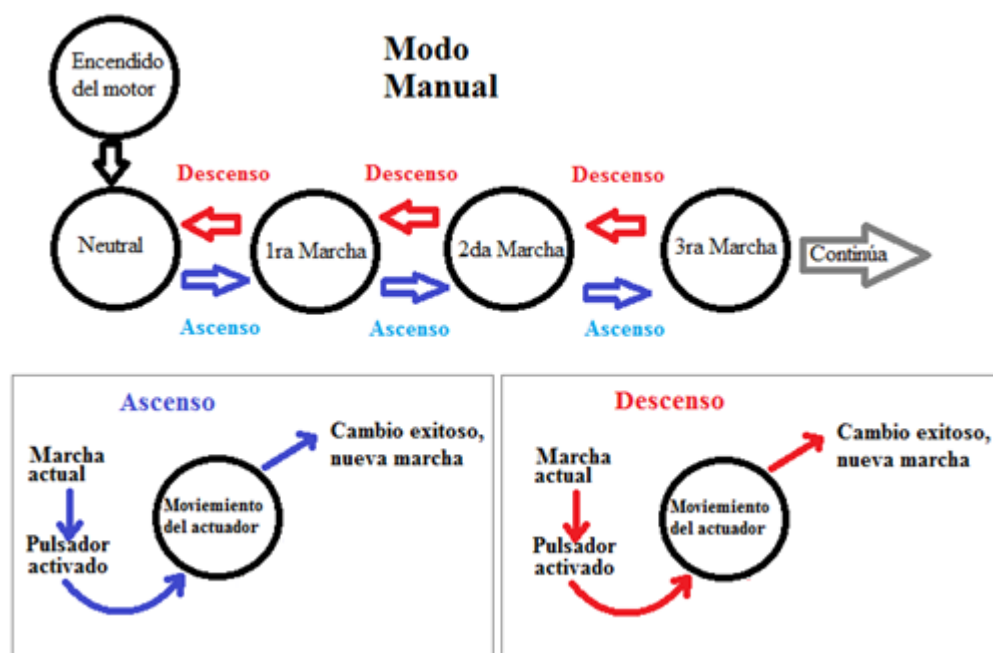
- Modo manual
- Modo automático
- Modo semiautomático

Para un análisis más profundo diríjase al **ANEXO C**

### 3.3.1 FUNCIONAMIENTO DEL MODO MANUAL

En este modo el funcionamiento del sistema depende en la mayoría del usuario, respecto a la programación esta es simple y otorga la mayor parte del control al operario, de todas maneras en este modo de funcionamiento se lee todas las variables y se las continúa procesando.

Para entender el funcionamiento del modo manual véase la Figura. 3.7: Algoritmo de funcionamiento del modo manual.



**Figura. 3.7: Algoritmo de funcionamiento del modo manual**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Donde se describe el algoritmo de funcionamiento de la siguiente forma:

- Se enciende en neutral y espera señales de aviso

- Sin importar la velocidad o RPM del motor, al momento de recibir una orden ascendente o descendente este simplemente actúa para cumplir con la orden dada.
- El usuario debe encargarse del acelerador y del embrague.

Para el funcionamiento en modo manual, se recomienda el uso del pedal de embrague del vehículo, de esta forma facilitar el control para el usuario.

Varias propuestas de funcionamiento son consideradas, tales como:

- Protección contra selección de cambio equivocado.
- Corte de potencia del motor al momento del cambio de velocidad
- Movimiento anticipado del actuador para mejorar la respuesta

Todos estos casos son considerados y activados según la preferencia de los usuarios y de la complejidad de la programación final.

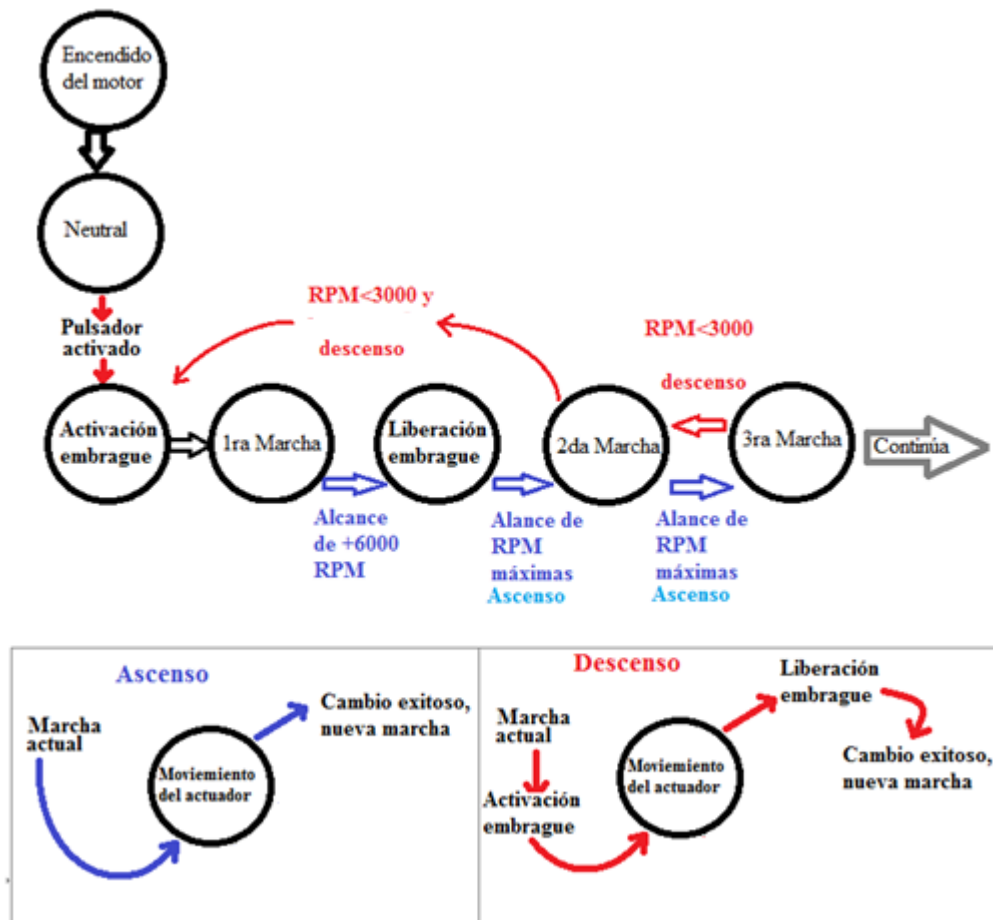
### **3.3.2 FUNCIONAMIENTO DEL MODO AUTOMÁTICO**

Este es un modo creado única y específicamente para la obtención de la mayor aceleración del vehículo, cabe recalcar que este modo de funcionamiento no posee similitudes con el funcionamiento de una caja de cambios automática de un vehículo de calle convencional, pues el modo automático que este estudio propone no tiene como objetivo el confort del usuario.

El objetivo principal para este modo de funcionamiento es la prueba de aceleración en línea recta que exige la organización de la competencia, donde el objetivo es lograr el menor tiempo posible en una recta de 100m y frenar al final de esta, por esta razón

es solamente indispensable el cambio de marchas ascendentemente y en altas revoluciones.

Para entender el funcionamiento del modo automático véase la Figura. 3.8:  
Funcionamiento del modo automático



**Figura. 3.8: Funcionamiento del modo automático**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Donde se describe el algoritmo de funcionamiento de la siguiente manera:

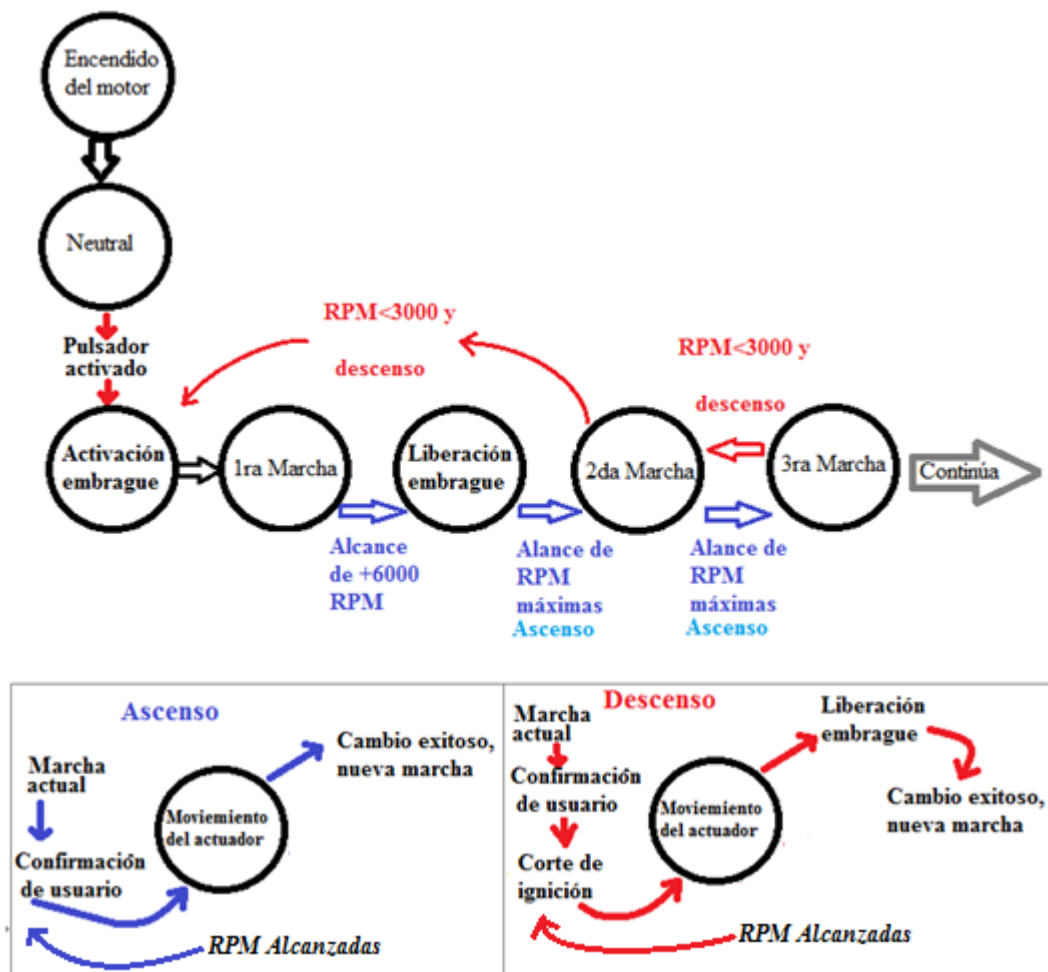
- Se enciende el motor en neutral.
- El sistema espera por un pulso que indica que desea colocar en marcha el vehículo.
- Engrana 1ra marcha y espera por las RPM adecuadas para un arranque, en este caso estas deben ser mayores a 6000 RPM.
- El embrague es liberado de manera controlada.
- Una vez en movimiento el sistema espera por las RPM máximas que acepte el motor para realizar el ascenso de velocidad.
- De la misma forma, el sistema detecta la caída de RPM para realizar el descenso de cambios.
- Una vez alcanzado el 1er cambio y perder movimiento del vehículo el sistema embraga nuevamente.

Este modo de funcionamiento no se recomienda para pruebas de manejo diferentes a la de aceleración en línea recta.

### **3.3.3 FUNCIONAMIENTO DEL MODO SEMIAUTOMÁTICO**

Este modo de funcionamiento es la unión del modo automático y del modo manual, para crear una interacción humano-máquina más amigable, más funcional y más flexible al momento de ser utilizada. Este método puede ser utilizado para todo tipo de manejo y toda prueba existente, tomando en cuenta que emplea mayor inteligencia que el modo manual y permite correcciones al usuario.

Este método tiene como objetivo facilitar el manejo de auto, especialmente en sectores trabados o con demasiadas curvas, este previene el cambio al que se debe encontrar el vehículo y lo confirma con órdenes del usuario. Para un mejor entendimiento de este modo de funcionamiento véase la Figura. 3.9: Funcionamiento modo semiautomático



**Figura. 3.9: Funcionamiento modo semiautomático**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

El algoritmo de funcionamiento se describe de la siguiente manera:

- Se enciende el motor en neutral
- Se indica mediante un pulso que se desea poner en marcha el vehículo
- El embrague se activa.
- El usuario eleva las RPM a más de 6000, indicando que va a partir
- El embrague se libera adecuadamente.
- El sistema se prepara para el cambio de velocidad según las RPM que posea el motor, para hacer el cambio de marcha este espera la llegada de las RPM programadas o la activación del pulsador que lo ordene.

- Para evitar golpeteos bruscos al cambiar de velocidad, el sistema corta la ignición momentáneamente hasta que el cambio haya sido alcanzado correctamente.
- De la misma forma que el modo automático al bajar la velocidad y las RPM el embrague se activa evitando que el motor se apague.

### **3.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y CALIBRACIÓN**

Las pruebas realizadas estuvieron orientadas a determinar el comportamiento del equipo y a medir la confiabilidad del mismo. Por medio de las pruebas se realizó las calibraciones necesarias a cada uno de los actuadores, para que el funcionamiento sea el adecuado y mantenga los parámetros de diseño y funcionalidad requeridos.

#### **3.4.1 PRUEBAS Y CALIBRACIÓN DEL ACTUADOR DEL EMBRAGUE**

Este actuador requiere de alta delicadeza al ser manipulado pues este se encuentra conectado a la palanca de embrague, la que puede llegar a ser muy frágil si se aplican fuerzas excesivas sobre esta.

El embrague, al ser un elemento que conecta y desconecta el motor posee varios requerimientos para su accionamiento y estos se describen a continuación:

- Su desconexión no presenta problemas, es decir puede ser desconectado a la mayor velocidad posible.
- Su reconexión debe ser controlada y progresiva para evitar una transferencia de fuerza excesiva y brusca.
- El arranque es el punto crítico del movimiento del embrague.

Existen varios movimientos diferentes para el embrague que deben ser analizados individualmente.

- Activación del embrague sin movimiento del vehículo.
- Liberación del embrague sin movimiento del vehículo.
- Liberación del embrague para arrancar el vehículo.
- Activación del embrague con el vehículo en movimiento.
- Liberación del embrague con el vehículo en movimiento.

Las opciones “activación del embrague sin movimiento del vehículo, activación del embrague con el vehículo en movimiento y liberación del embrague sin movimiento del vehículo” son movimientos donde es despreciable la velocidad a la que el embrague se movilizce, pues esta no influye en nada, por eso se recomienda que para estos casos se trabaje al actuador a su mayor capacidad y velocidad, la que es de 0,5in/s.

La opción “liberación del embrague con el vehículo en movimiento” se refiere al momento en el que embraga para cambiar de velocidades mientras se posee movimiento. Esta liberación debería ser progresiva para mayor confort al momento del manejo, pero al tratarse de un vehículo prototipo de competencia, este se desprecia y se lo realiza a la mayor velocidad posible, porque este monoplaza tiene como objetivo mejorar la aceleración y no el confort.

La opción “liberación del embrague para arrancar el vehículo” es donde el análisis debe centrarse, pues es aquí donde se necesita de un control preciso y progresivo, véase el Cuadro. 3.3: Análisis de la liberación del embrague



**Cuadro. 3.3: Análisis de la liberación del embrague**

LIBERACIÓN RÁPIDA	LIBERACIÓN LENTA	LIBERACIÓN ADECUADA
<b>Provoca que el motor pierda torque bruscamente y no logre arrancar, incluso pueda apagarse.</b>	El torque no es transferido a la caja de cambios y el movimiento se retrasa, incluso puede llegar a ser demorado.	El torque se transfiere lo más rápido posible, sin la pérdida de este y provocando el movimiento del vehículo.

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Por las razones antes descritas, el programa ha dividido el recorrido total del embrague en 3 velocidades diferentes y en 3 puntos diferentes, por los cuales existirá una velocidad de movimiento diferente para cada uno de ellos, véase el Cuadro. 3.4: Velocidad de punto a punto para la palanca de embrague

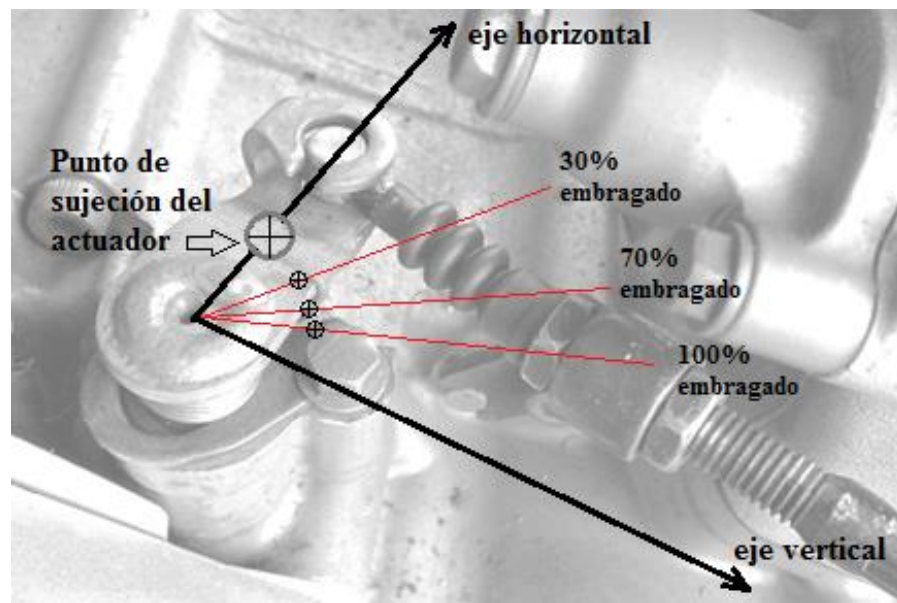
**Cuadro. 3.4: Velocidad de punto a punto para la palanca de embrague**

PUNTOS	VELOCIDAD
<b>Desde 100% hasta 70%</b>	(Máxima velocidad) x (Factor de Corrección)
<b>Desde 70% hasta 30%</b>	(60% de velocidad) x (Factor de Corrección)
<b>Desde 30% hasta 0% de embrague</b>	(30% de velocidad) x (Factor de Corrección)

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Donde el factor de corrección es un valor constante entre 0 y 1, utilizado para futuras calibraciones.

Obsérvese la Figura. 3.10: Recorrido y movimiento de la palanca de embrague, donde se muestran las posiciones para el movimiento del embrague.



**Figura. 3.10: Recorrido y movimiento de la palanca de embrague**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### 3.4.2 PRUEBAS Y CALIBRACIÓN DEL ACTUADOR DE LA PALANCA DE CAMBIOS

Este actuador no requiere delicadeza al momento de manipular la palanca de cambios, esta no posee movimientos límite y es robusta como para soportar fuerzas excesivas puntuales.

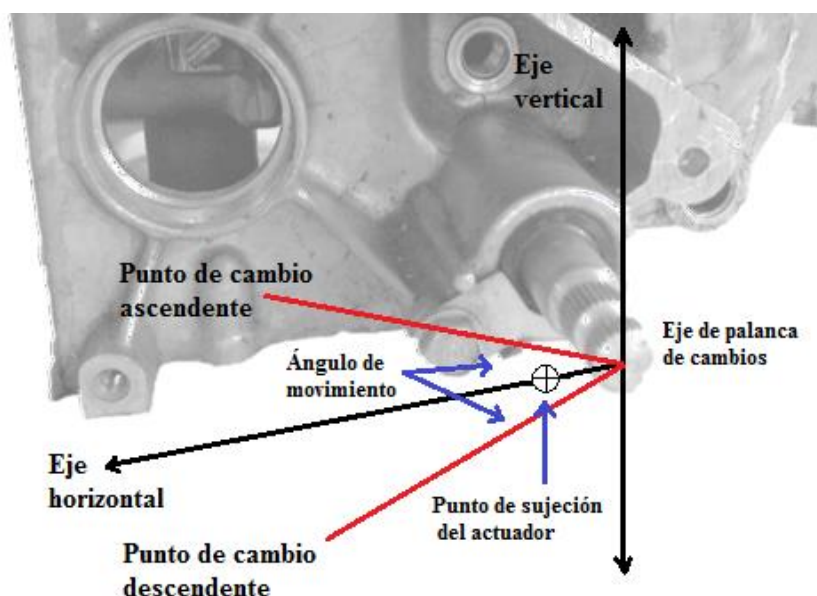
El movimiento que este debe realizar sobre la palanca de cambios debe ser rápido y constante, se conoce que la fuerza de engranaje de los piñones es siempre igual sin importar a la velocidad que se los manipule.

La configuración de la caja de cambios es la siguiente:

- Posee un tambor rotatorio con chavetas móviles para cambio de marcha secuencial.
- El orden de los cambios son: 1, N, 2, 3, 4, 5, 6

- El ángulo que debe girar la palanca es de  $20^\circ$  entre las velocidades 2, 3, 4, 5 y 6.
- El ángulo que debe girar la palanca para el cambio entre 1ra y N es de  $16^\circ$  y para el cambio de N a 2da es de  $14^\circ$ .

Para un mejor entendimiento de la configuración de la caja de cambios véase la Figura. 3.11: Puntos de cambio y ángulos de movimiento



**Figura. 3.11: Puntos de cambio y ángulos de movimiento**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

#### a. CALIBRACIÓN DEL PISTÓN CAMBIADOR DE MARCHAS

Después de varias pruebas del funcionamiento de este se determinó varios parámetros para mejorar el funcionamiento, hacerlo más robusto, donde se comparan solamente los puntos finales en cada movimiento, véase el Cuadro. 3.5: Calibración y recomendaciones de funcionamiento, nótese que se ha tomado una medida aumentada para cada uno de los movimientos, debido que al utilizar el movimiento justo, el enclavamiento de cada cambio no es garantizado y al notar que no existe daño alguno

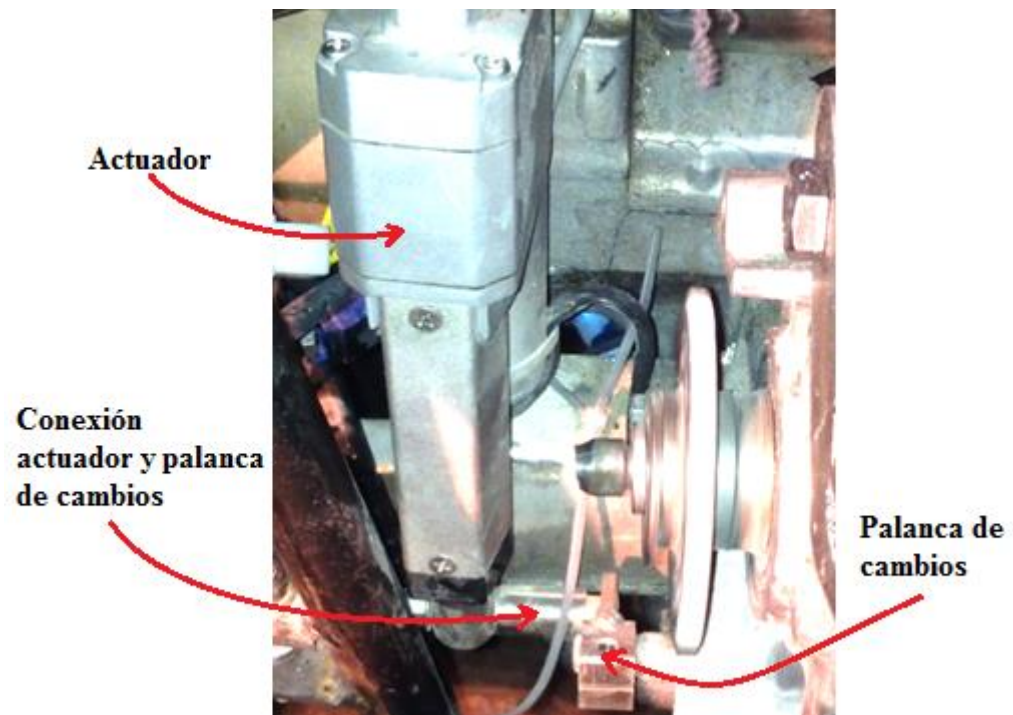
al sobrepasar los límites se ha tomado una recomendación de un 20 % más a cada movimiento.

**Cuadro. 3.5: Calibración y recomendaciones de funcionamiento**

MOVIMIENTO	POSICIÓN MEDIDA	POSICIÓN RECOMENDADA
<b>De 1ra a N</b>	16°	19°
<b>De N a 2da</b>	18°	21°
<b>De 2da a 3ra y demás ascendentes</b>	20°	24°
<b>Descendentes hasta 2da</b>	18°	21°
<b>De 2da a N</b>	16°	19°
<b>De N a 1ra</b>	14°	17°

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Para un mejor entendimiento de lo anteriormente nombrado se debe recalcar que el pistón DC lineal se encuentra fijado en el bastidor del vehículo con un grado de libertad rotatorio (con pivote en a sujeción) y el otro extremo se encuentra fijo a la palanca de cambios mediante un espaciador o buje que evita que exista flexión. Observe la Figura. 3.12: Fijación y posición final del actuador de caja de cambios



**Figura. 3.12: Fijación y posición final del actuador de caja de cambios**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

### 3.5 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La hipótesis planteada para el proyecto es:

“¿La implementación del sistema inteligente cambiador de marchas mejora la aceleración y otorga un mejor desempeño del vehículo?”

De dicha hipótesis se obtienen las siguientes variables:

Variable independiente

- Cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas FPGA.

Variable dependiente

- Mejora la aceleración y el desempeño del vehículo.

Se desea analizar si los resultados de las pruebas realizadas son concluyentes o no. El método científico utilizado para el desarrollo de esta investigación es el deductivo en su mayoría, este se lo conoce por partir de lo general hacia lo particular de forma que partiendo de unos enunciados de carácter universal y utilizando instrumentos científicos, se infieren enunciados particulares, pudiendo ser axiomático-deductivo, cuando las premisas de partida están constituidas por axiomas, es decir, proposiciones no demostrables, o hipotéticos-deductivo, si las premisas de partida son hipótesis contrastables. (Gómez, 2004)

Se aplican las pruebas para la comprobación de la hipótesis las que han sido creadas solamente para la comprobación de esta hipótesis en particular, donde se puede afirmar la hipótesis siempre y cuando exista una mejora de por lo menos el 20% según los parámetros establecidos a continuación.

Esta será comparada con el funcionamiento de fábrica, es decir sin ningún tipo de actuador mecánico o automatizado, simplemente con la utilización de conexión mecánica. La conexión mecánica fue utilizada en años anteriores con la implementación de barras que unen la palanca de cambios del motor con una palanca de cambios dentro de la cabina del piloto. Este funcionamiento se lo nombrará como funcionamiento “estándar”.

### **3.5.1 TIEMPO DE ACCIONAMIENTO**

Es el tiempo que demora el sistema desde que se requiere el cambio de marcha hasta que se cumplió con la orden, este tiempo puede ser solamente analizado para el modo de uso manual y semiautomático. Véase el análisis de este tiempo en el Cuadro. 3.6: Análisis de tiempo de accionamiento

**Cuadro. 3.6: Análisis de tiempo de accionamiento**

PARÁMETRO	TIEMPO ESTÁNDAR	TIEMPO DEL SISTEMA
Tiempo de movimiento de la palanca de cambios	0,6 seg (aprox)	0,3 seg (aprox) (sin movimiento predictivo)
Tiempo de procesamiento de orden	Nul	0,1 seg (aprox)
Tiempo muerto de movimiento humano (tiempo que toma al usuario accionar el elemento)	0,3 seg (aprox)	0,1 seg (aprox)
Total tiempo	0,9 seg (aprox)	0,5 seg (Aprox)
Porcentaje de mejora	0%	44%

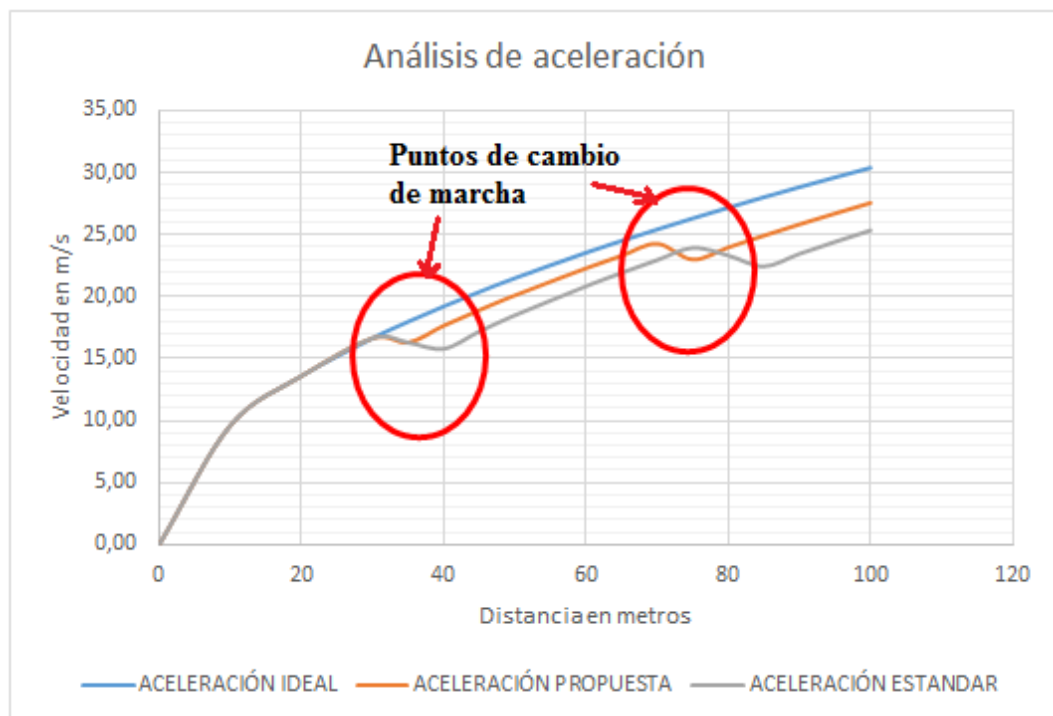
Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Los tiempos medidos para el tiempo estándar, son datos calculados según la velocidad del cuerpo humano según el libro “Biomecánica básica del sistema musculoesquelético” (Frankel, 2014).

Para analizar la aceleración del vehículo se toman los tiempos muertos generados por el sistema cambiador de marchas inteligente y por el sistema estándar, los cuales se compararán con una aceleración ideal sin pérdidas. En la Figura. 3.13: Análisis de aceleración del vehículo se muestran las diferentes curvas de aceleración, esta gráfica se describe a continuación.

- La línea azul simula una aceleración ideal sin pérdidas por cambios de velocidad, llegando a una velocidad final en 100m de 30,4m/s
- La línea roja es la aceleración que muestra el sistema propuesto, con sus pérdidas al momento del cambio de marcha, llegando a una velocidad final en 100m de 27,5m/s.

- La línea gris representa a la aceleración que muestra el sistema estándar, tomando en cuenta los tiempos muertos al cambio de marcha llegando a una velocidad final en 100m de 25,3m/s



**Figura. 3.13: Análisis de aceleración del vehículo**

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Se puede concluir este análisis recalando que la velocidad final alcanzada por el sistema propuesto es superior a la velocidad final alcanzada por el sistema estándar.

“Se confirma que la hipótesis es verdadera, es decir el sistema inteligente cambiador de marchas mejora la aceleración y otorga un mejor desempeño del vehículo”



### 3.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

Se abordan temas referentes a los gastos del proyecto, donde se toman en cuenta los materiales utilizados para la investigación y los materiales finales utilizados. En el Cuadro. 3.7: Costo de componentes, se muestran los gastos de componentes del sistema

**Cuadro. 3.7: Costo de componentes**

ÍTEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	2	Pulsador volante	\$ 1,50
2	1	Volante de competición	\$ 300,00
3	3	Bus de datos 1m	\$ 8,60
4	12,5	Protector térmico 1m	\$ 52,30
5	1	Placa de aluminio de 2mm	\$ 4,00
6	1	Elementos electrónicos varios	\$ 308,00
7	1	Tarjeta SbRIO Single board 9636	\$ 675,00
8	2	Motor DC lineal	\$ 260,00
9	28	Cables de conexión 1m	\$ 16,00
10	2	Caja de plástico termoformado	\$ 33,00
11	30	Pernos de sujeción	\$ 6,00
12	1	Vinilo protector texturado 1m	\$ 7,00
Total			\$ 1.671,40

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

Para la estimación de costos de ingeniería se aplica la fórmula de costo humano la cual se expresa en la Ec: 3.3

$$\text{Costo (USD)} = k \times (N \text{ horas hombre}) \quad \text{Ec: 3.3}$$

Donde:

k: Es el valor profesional en USD

N horas hombre: es la cantidad de horas por persona requeridas.

Por medio de esta ecuación se puede crear el Cuadro. 1.1: Clasificación de las cajas de cambio

**Cuadro. 3.8: Costo de ingeniería y costo total del proyecto**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	K (USD)	N° HORAS HOMBRE	SUBTOTAL
1	Ingeniería del proyecto	\$ 25,00	200	\$ 5.000,00
2	Montaje e implementación	\$ 3,00	80	\$ 240,00
3	Costo de componentes			\$ 1.671,40
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 6.911,40</b>

Realizado por: Gordillo, X. y Lara, L.

En base a los resultados del Cuadro. 3.7: Costo de componentes y del Cuadro. 3.8: Costo de ingeniería y costo total del proyecto, se puede determinar que el costo de inversión para el proyecto “Diseño e implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013” es de \$ 6.911,40 dólares Norteamericanos.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Culminado el proceso de diseño e implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013, se establecen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Las que forman parte de un aporte a la realización de proyectos similares, o mejoras al trabajo realizado.

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- Se diseñó e implementó un cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013, el cual funciona de manera adecuada, cumple parámetros de diseño y está diseñado adecuadamente para un vehículo de competición.
- Se recopiló toda información necesaria para la realización del proyecto, fortaleciendo conocimientos y logrando dar una base científica para la investigación, utilizando bibliografía encontrada en la biblioteca ESPE-Latacunga, revisando información en foros automotrices e información de investigaciones para la Formula Student.
- El diseño de un mecanismo de selección de marchas construido para el volante es ergonómico para el piloto, pues este logra ser activado sin que el piloto tenga que perder contacto con el volante, siendo esta una de las normativas existentes en la teoría de la ergonomía.

- Cumplidos los parámetros de diseño establecidos, el sistema mecánico de cambio de marchas adaptado al compacto del motor Honda CBR 600 f4i, se diseñó de la manera más compacta y simple posible.
- Se construyó el sistema electromecánico de cambio de marchas y se lo unió a la caja de cambios del motor, por medio de un mecanismo de acoplamiento entre los actuadores del sistema con materiales comúnmente encontrados en Ecuador, del menor costo posible y que requieren de la menor cantidad de procesos de mecanizado, estos son objetivos de la competencia Formula Student
- La adquisición de los datos del motor por medio del sensor de velocidad y el de RPM o CMP del motor no requirieron de circuitos de acoplamiento de señales, puesto que la tarjeta SbRio Single Board 9636 posee una muy alta resolución y evita la necesidad de amplificación de señales
- Para controlar el sistema se realizó una programación separada en varios segmentos, en el FPGA se da lectura a todas las variables y pasan por una primera etapa de acondicionamiento, posteriormente se dividió en 3 modos de funcionamiento al sistema; el modo automático, semi-automático y manual, aprovechando las características de la tarjeta SbRio single Board 9636 para realizar la mayor cantidad de procesos en prácticamente al mismo tiempo.
- Se comprobó el funcionamiento de los elementos mecánicos, electrónicos y de control del sistema, en el aeropuerto de la ciudad de Ambato, siendo probado en su mayoría en línea recta, variando la aceleración y dejando que varios usuarios lo utilicen, de esta forma el sistema fue probado y calibrado con satisfacción.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Optimizar de la mejor manera la programación y los flujos de información, para evitar la saturación de los procesadores de la tarjeta SbRio y para lograr una mayor rapidez de funcionamiento.
- Se debe adquirir la menor cantidad de señales en tiempo real por FPGA y realizar la menor cantidad de procesos dentro del FPGA, para que este no se sature y pueda funcionar con toda su capacidad.
- Utilizar materiales fácilmente mecanizables, para minorar el tiempo y costo de fabricación, tomando en cuenta que este es el objetivo de la competencia Formula Student
- Evitar los límites operacionales de los elementos, de esta forma el funcionamiento va a ser constante y correcto, a bajas temperaturas, a alta velocidad y sin riesgo de daños.
- Por el motivo que este es un dispositivo utilizado en el campo automotriz, se recomienda el uso de normas automotrices y elementos diseñados para este campo.
- Proteger a todo el sistema de la lluvia, el polvo y las altas temperaturas, se recomienda cajas de protección térmica y protector de cable térmico, tomar en cuenta el cableado pues cerca de un motor de combustión existen altas temperaturas, altas corrientes eléctricas y altos campos magnéticos.
- Todo elemento mecánico que esté sujeto a movimiento, debe ser preferentemente flexible, pues en un automóvil de competencias las vibraciones pueden ser inesperadas y pueden generar esfuerzos no previstos en los materiales.

- Utilizar siempre un porcentaje de movimiento excedente en el actuador de las marchas, garantizando el engranaje de la nueva velocidad y evitando fallas inesperadas.
- Para futuros proyectos se recomienda la utilización de un motor con sensor de marcha, o que permita su instalación, el conocer en que marcha se encuentra el vehículo es de gran ayuda para la programación.
- Colocar diodos de recuperación en todos los relés del vehículo, puesto que la corriente que estos generan provoca ruidos dañinos en la tarjeta SbRio
- En su mayoría se recomienda trenzar el cableado para anular los campos eléctricos y magnéticos generados, sea del vehículo, o sean del controlador de la caja de cambios.
- Revisar la corriente entregada por los sensores de efecto Hall del motor, en este caso el CKP, CMP y sensor de revoluciones del motor, pues de la misma forma que los relés pueden llegar a generar altas corrientes que afecten a la tarjeta, en caso de existir las, se recomienda la utilización de una resistencia de 10KOhm en la mayoría de circuitos automotrices, que presenten el problema.
- Nunca separar las tierras de los circuitos, pues al hacerlo el campo eléctrico generado por los conductores crea un diferencial de potencial que afecta al circuito de control.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águeda Casado, E., Navarro, J. M., & Gómez Morales, T. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
- Bestraten Bellovi, M., & otros y. (1994). *Ergonomía*. Barcelona: INSHT.
- Círculo de Lectores. (1993). *Gran Enciclopedia Ilustrada Círculo* (Vol. IV). (1. Plaza y Janés Editores S. A., Ed.) Santa Fé de Bogotá, Colombia: Printer Latinoamericana Ltda.
- Cortés Díaz, J. M. (2012). *Seguridad e Higiene del Trabajo, Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales* (10 ed.). Madrid , España: Editorial Tébar, S.L.  
Recuperado el 10 de Abril de 2014
- Crouse, W. H. (1984). *Transmisión y Caja de Cambios del Automóvil* (4 ed.). México DF, México: Marcombo, S.A. Recuperado el 13 de Febrero de 2014
- Frankel, V. (2014). *biomecánica básica del sistema musculoesquelético* (Tercera Edición ed.). McGraw Hill Interamericana.
- Gómez, R. (2004). *Evolución Científica y metodológica de la economía*. Málaga, España.
- HONDA MOTORS. (2003). *Maintance HONDA CBR F4i Manual*. Tokio.
- National Instruments. (2013). *NI LabVIEW for CompactRIO Developer's Guide*. Austin , Texas, USA: Measurement Studio.
- Sae International. (2013). *2014 Formula Sae Rules*.
- Sánchez, V. (2004). *Cajas Automáticas*. Quito, Pichincha, Ecuador: Ediciones américa.

## LINKOGRAFÍA

- \*Ale\*. (22 de junio de 2014). *Mecánica del Automovil*. Obtenido de <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>
- Arpem Networks, S.L. (2 de Febrero de 2014). *Arpem.com*. Obtenido de <http://www.arpem.com/motos/modelos/hm/fotos/2011/crm-125-derapage-competition/cadena-transmision.html>
- Atom. (Marzo de 2009). *Mecánica del Automóvil*. Recuperado el 24 de Marzo de 2014, de <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>
- DanyMeganeboy . (14 de noviembre de 2014). *Aficionados a la Mecánica*. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/diferencial-autoblocante.htm>
- Direct Industry. (14 de Enero de 2014). *Direct Industry*. Recuperado el 2014, de <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/fpga-77550.html>
- Fespe Racing Team. (12 de noviembre de 2014). *Fespe Team*. Obtenido de <https://www.facebook.com/FESPETeam?fref=ts>
- Garzón, J. (2 de Febrero de 2014). *El Automóvil al Desnudo*. Obtenido de <http://jeroitim.blogspot.com/2013/06/sistema-de-transmision-en-vehiculos.html>
- Gingenieria. (8 de Febrero de 2014). *Wikipedia*. Recuperado el 21 de Marzo de 2014, de <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Velocidades.png>
- IMechE. (21 de diciembre de 2013). *Institution of Mechanical Engineers*. Obtenido de <http://www.formulastudent.com/formula-student/about-us>
- M&PFernandez. (30 de Noviembre de 2008). *taller virtual*. Obtenido de <http://www.tallervirtual.com/2008/11/30/inspeccion-y-reemplazo-de-los-discos-de-embrague-en-una-moto/>



National Instruments. (3 de Julio de 2014). *National Instruments*. Obtenido de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210421>

National Industries. (22 de Enero de 2014). *National Instruments*. Obtenido de National Instruments Web Site: <http://www.ni.com/fpga/esa/>

Pololu. (23 de enero de 2014). *pololu robotics & electronics*. Obtenido de <http://www.pololu.com/product/2302>

SAE.org. (9 de Febrero de 2014). *SAE INTERNATIONAL*. Obtenido de <http://students.sae.org/cds/formulaseries/about.htm>

*Wikipedia*. (13 de Febrero de 2014). Recuperado el 26 de marzo de 2014, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Caja\\_de\\_cambios](http://es.wikipedia.org/wiki/Caja_de_cambios)

## GLOSARIO

**CAJA DE CAMBIO:** Elemento compuesto por una configuración de engranes, que convierte un torque y velocidad de entrada, en un torque y velocidad de salida diferentes

**COMPACTO DEL MOTOR:** Llamado así a la carcasa externa que contiene al motor, la caja de cambios, el embrague y todos los sensores de este. Generalmente fabricado por procesos de fundición.

**DRIVER:** Dispositivo electrónico que posee la capacidad de controlar un elemento en particular, facilitando el procesamiento de señales y de controles para el dispositivo.

**ECU:** Toma su nombre por sus siglas en inglés, Unidad de Control Electrónico. También conocido como computador del motor o cerebro, esta se encarga de controlar todos los procesos y secuencias de combustión de un motor.

**ENGRANAJE:** Elemento circular formado por dientes utilizado para la transferencia de movimiento. También se utiliza esta expresión para indicar que dos o más engranes están en contacto y se han posicionado correctamente.

**HOMOLOGADO:** Elemento que cumple con especificaciones de una autoridad, que pone en relación de igualdad o semejanza varios parámetros.

**HP:** Unidad de medida de potencia (Caballo de Fuerza).

**MARCHA Y VELOCIDAD:** Palabras utilizadas para describir una de las configuraciones de la caja de cambio, ej. El auto se encuentra en segunda marcha, la tercera velocidad del auto se encuentra trabada.

**PIÑÓN:** Nombre que toma una catalina de cadena conductora.

**PRUEBA DE ACELERACIÓN:** Prueba creada por la Formula SAE que implica 75m en línea recta, donde el ganador es el que los cumpla en el menor tiempo posible.

**RALENTÍ:** Estado de un motor encendido sin contacto del acelerador, es conocido por ser el estado del motor en el que mantiene las más bajas RPM posibles sin que este se apague.

**RPM:** Unidad de medida de velocidad de rotación para un motor de combustión interna.

**VEHÍCULO DE COMPETENCIA:** Es un dispositivo utilizado para movilizar personas, que tiene como objetivo un evento en especial, sea este de velocidad o de cualquier tipo, sin dar preferencia a la durabilidad o confort de este necesariamente.

**VEHÍCULO PROTOTIPO:** Es un automóvil que no se fabrica en masa, que sirve para hacer pruebas de diseño, o de competencias.

**ANEXOS**

## ANEXO A

### BUS DE DATOS

Numero de hilos: 26

- 1) Alimentación 12 V
- 2) GND
- 3) V
- 4) Pulsador cambio de marcha - Ascendente PIN 1
- 5) Microcontrolador 3 - Puerto A0 (CLK)
- 6) Pulsador cambio de marcha - Ascendente PIN2
- 7) Microcontrolador 3 - Puerto A1 (CAMBIO)
- 8) Pulsador cambio de marcha – Descendente PIN1
- 9) Microcontrolador 3 - Puerto A2 (EXTRA)
- 10) Pulsador cambio de marcha - Descendente PIN2
- 11) Microcontrolador 1 - Puerto C3 (BIT 0 - MATRIZ)
- 12) Interruptor 2 (PIN 1)
- 13) Microcontrolador 1 - Puerto C0 (BIT 2 - MATRIZ)
- 14) Interruptor 2 (PIN 2)
- 15) Microcontrolador 1 - Puerto C2 (BIT 1 - MATRIZ)
- 16) Interruptor 3 (PIN 1)
- 17) Microcontrolador 2 - Puerto C3 (RV2 - INDICADOR)
- 18) Interruptor 1 (OPCIÓN 2)
- 19) Microcontrolador 2 - Puerto C2 (RV1 - INDICADOR)
- 20) Interruptor 3 (PIN 1)
- 21) Microcontrolador 2 - Puerto C4 (CLK)
- 22) Interruptor 1 (NEUTRO)
- 23) Microcontrolador 2 - Puerto C5 (CAMBIO)
- 24) Interruptor 4 (PIN 1)
- 25) Interruptor 4 (PIN 2)
- 26) Interruptor 1 (OPCIÓN 1)

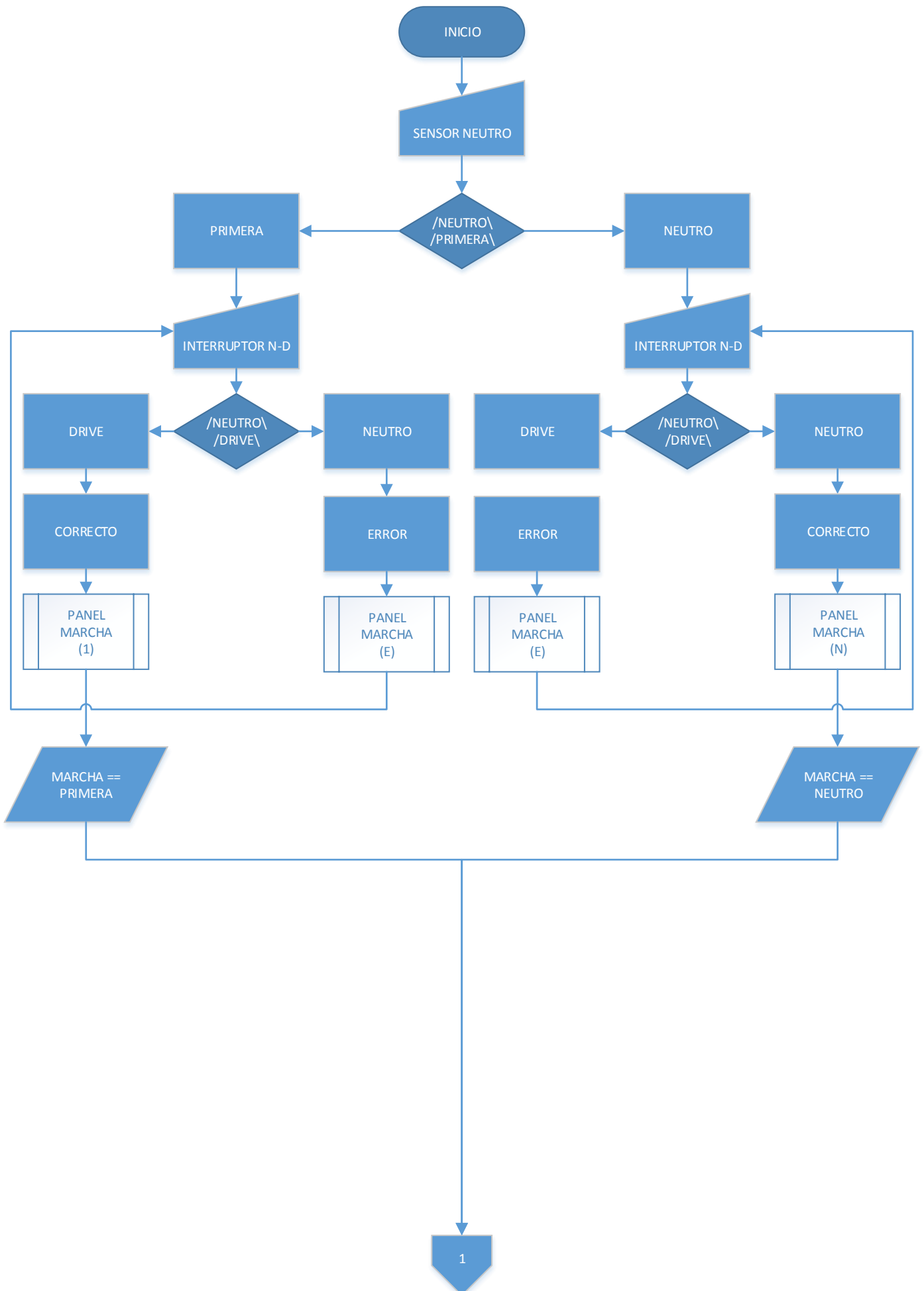
Microcontrolador 1: Matriz indicador de marchas

Microcontrolador 2: Temperatura – Aceite

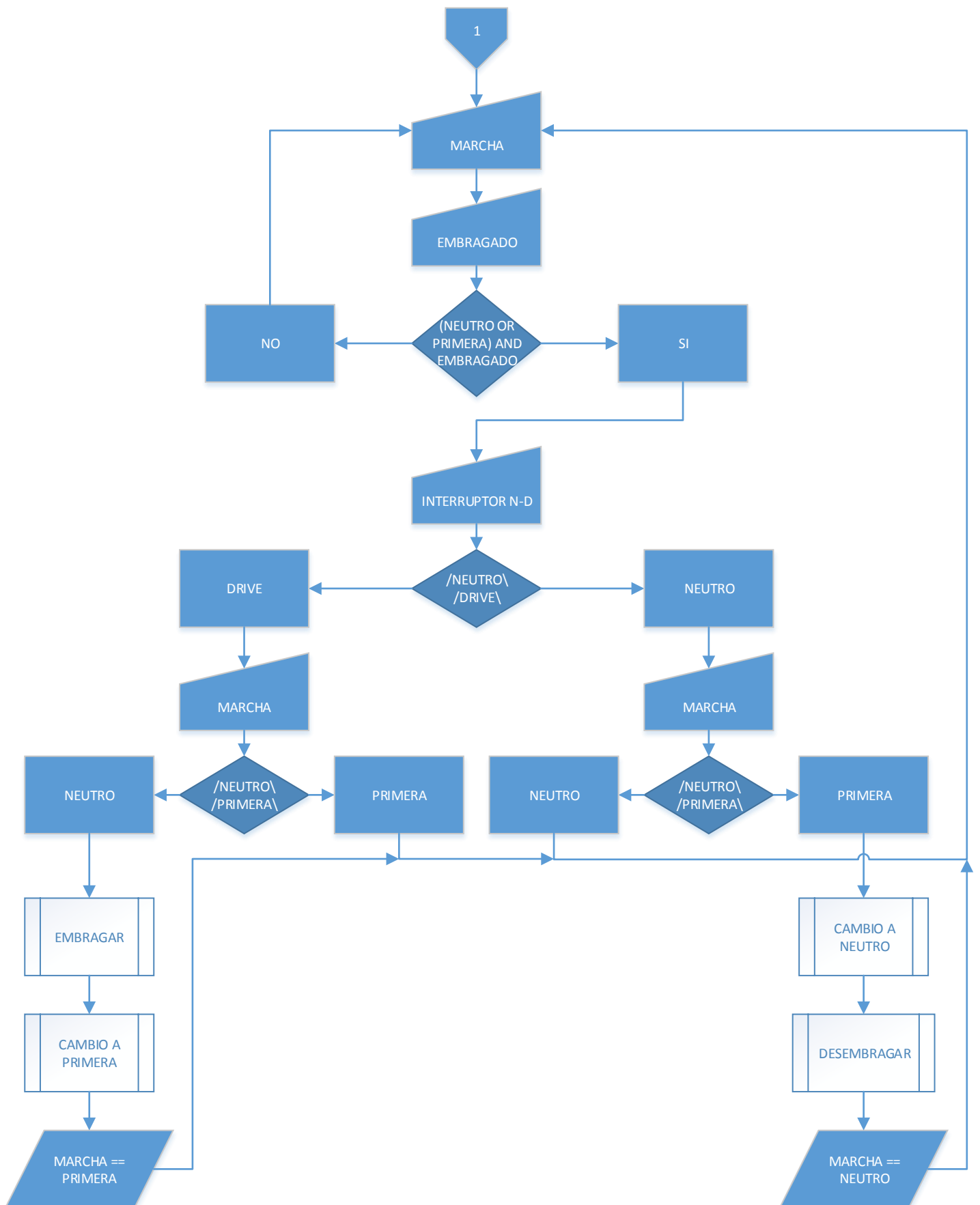
Microcontrolador 3: RPM

**ANEXO B**

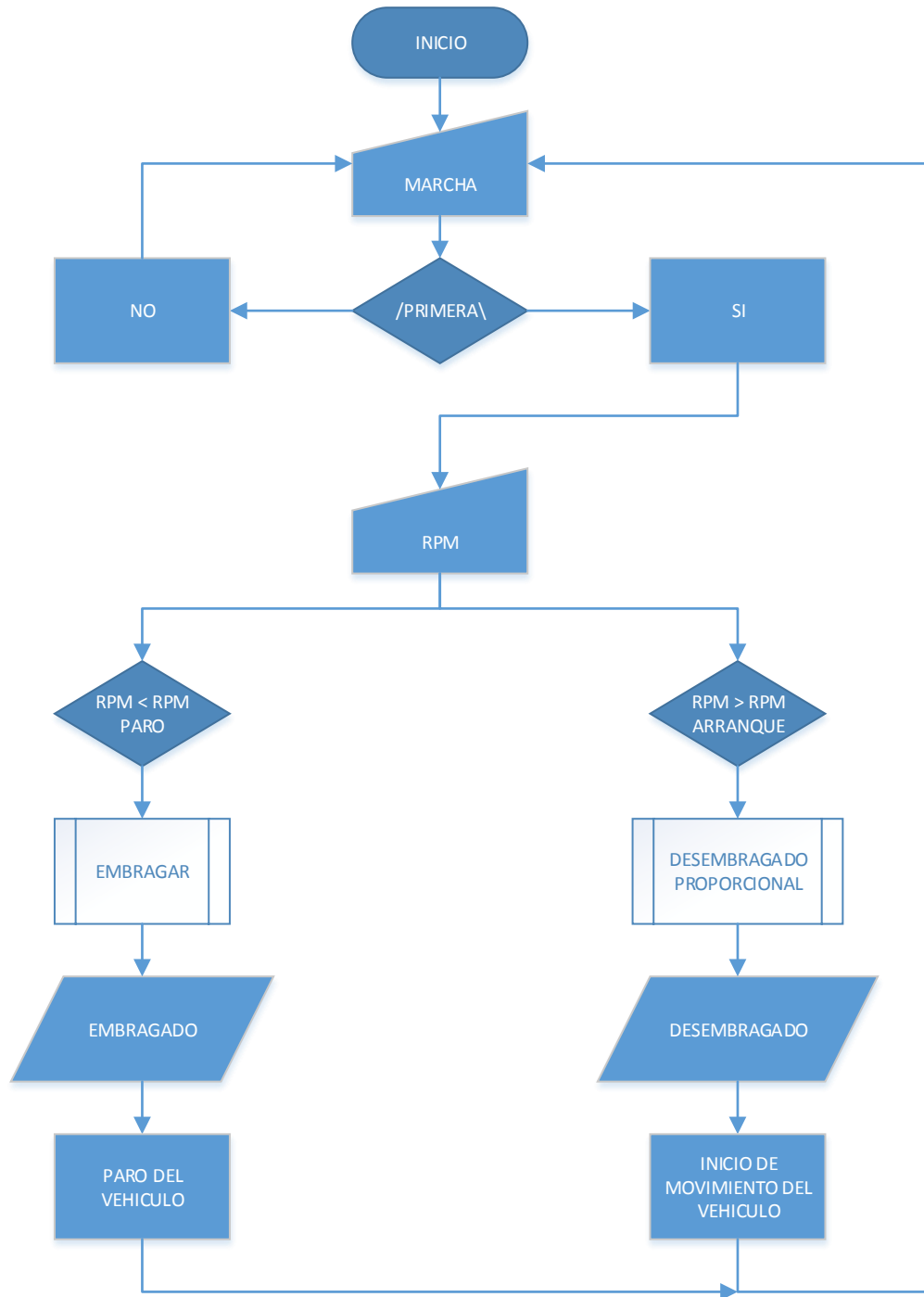
# CAMBIO NEUTRO A PRIMERA Y VISEVERSA



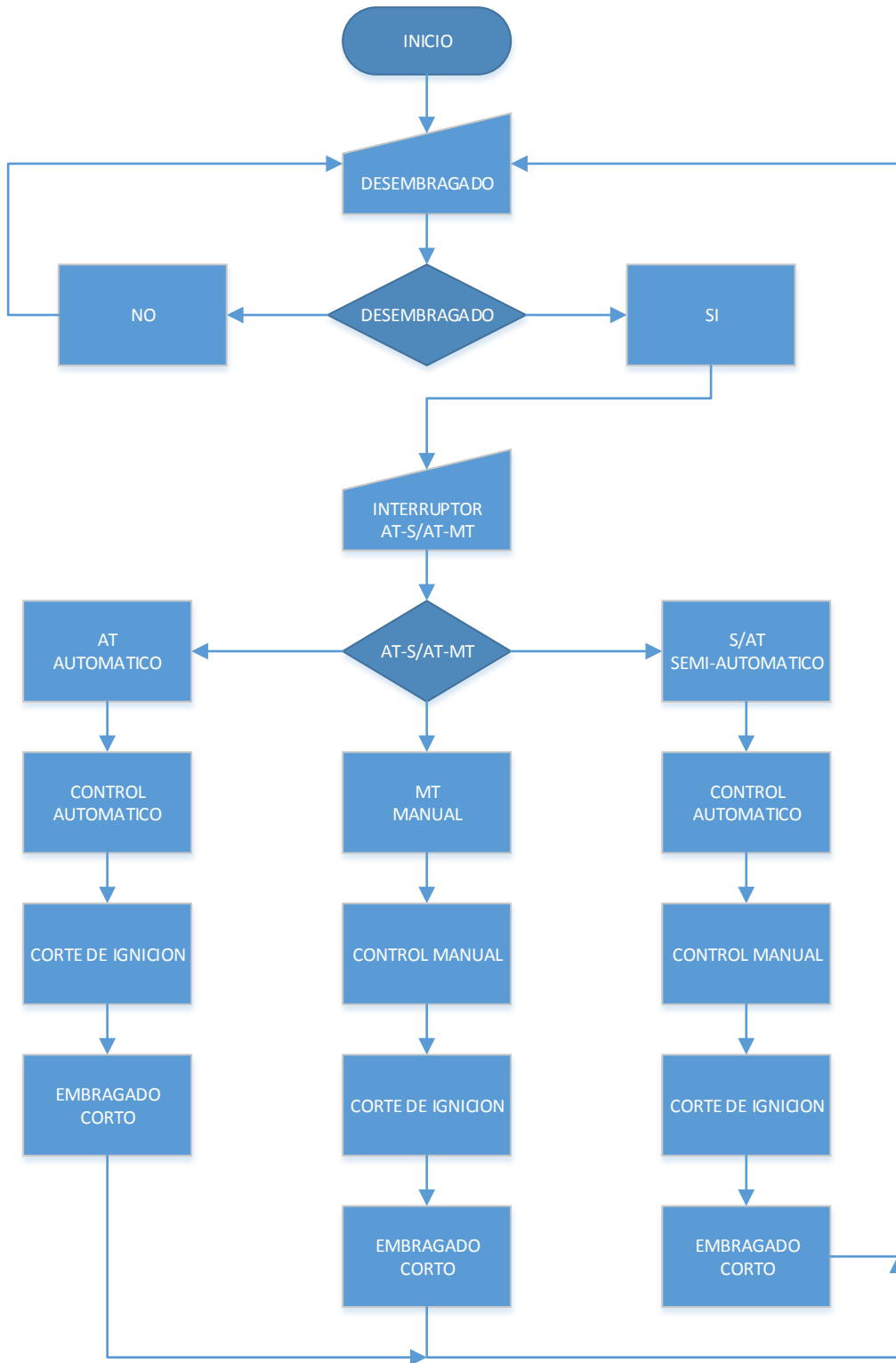




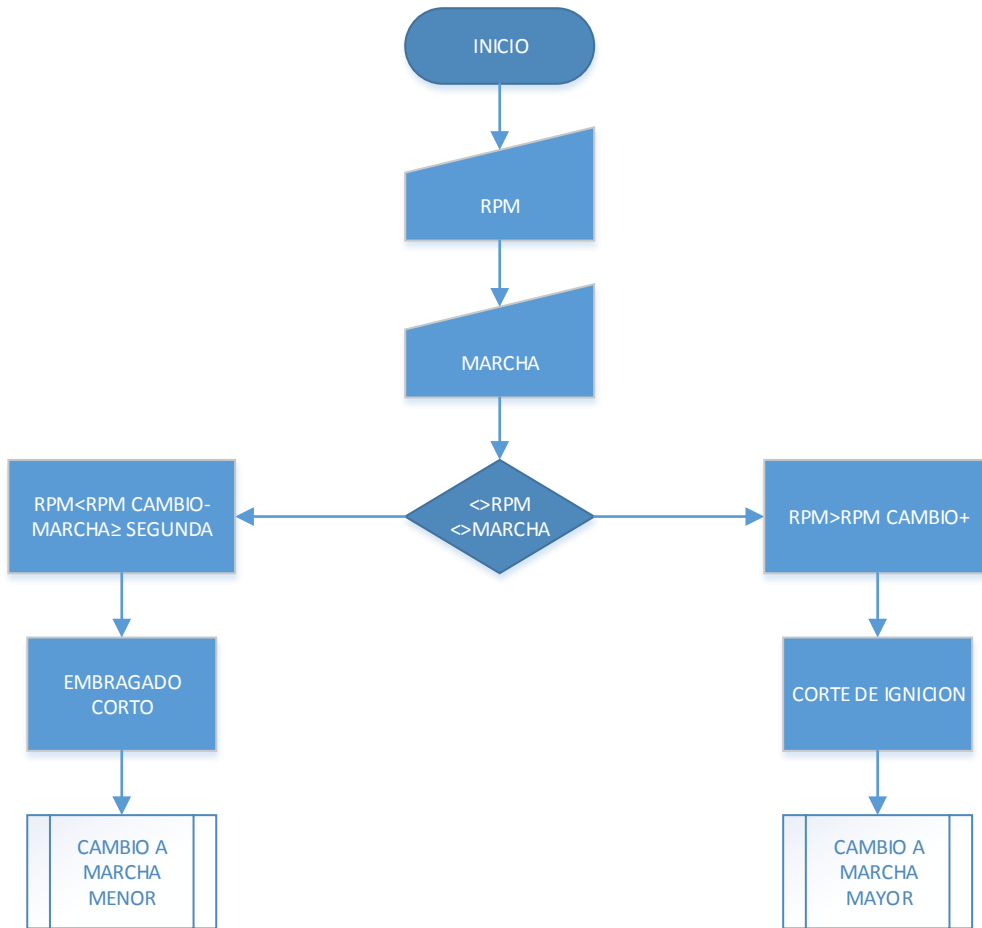
# INICIO DE MOVIMIENTO DEL VEHICULO



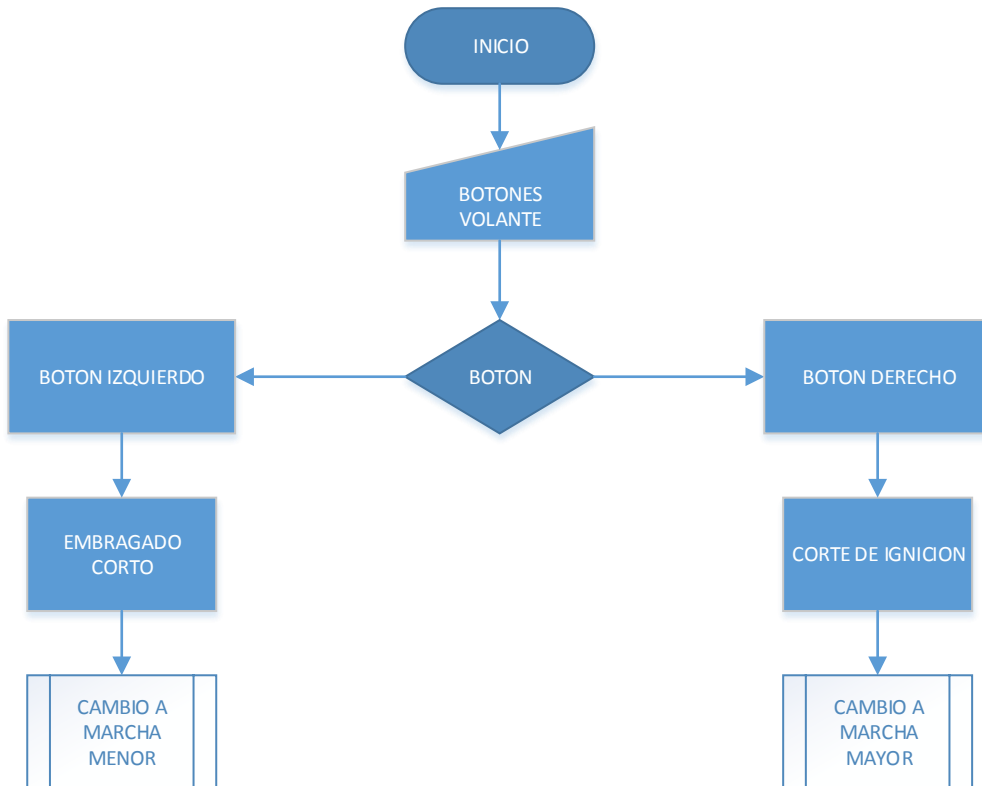
# CAMBIO DE MARCHA



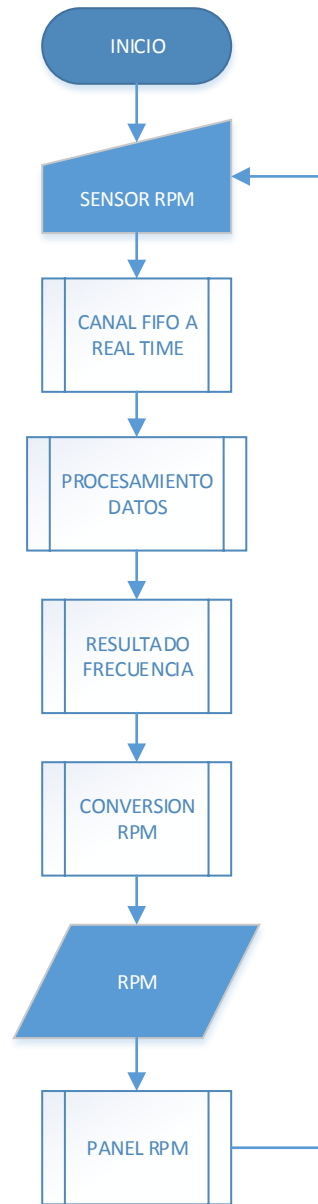
# CONTROL AUTOMATICO



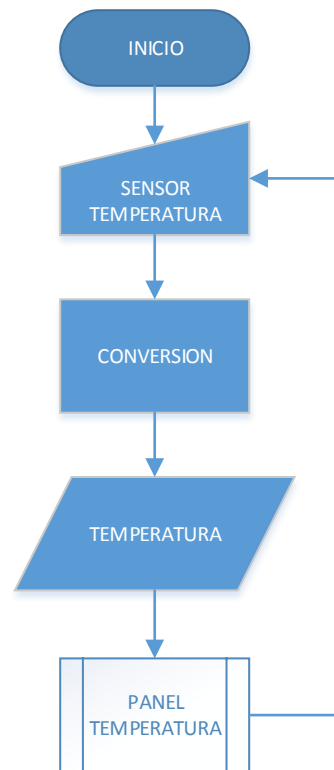
# CONTROL MANUAL



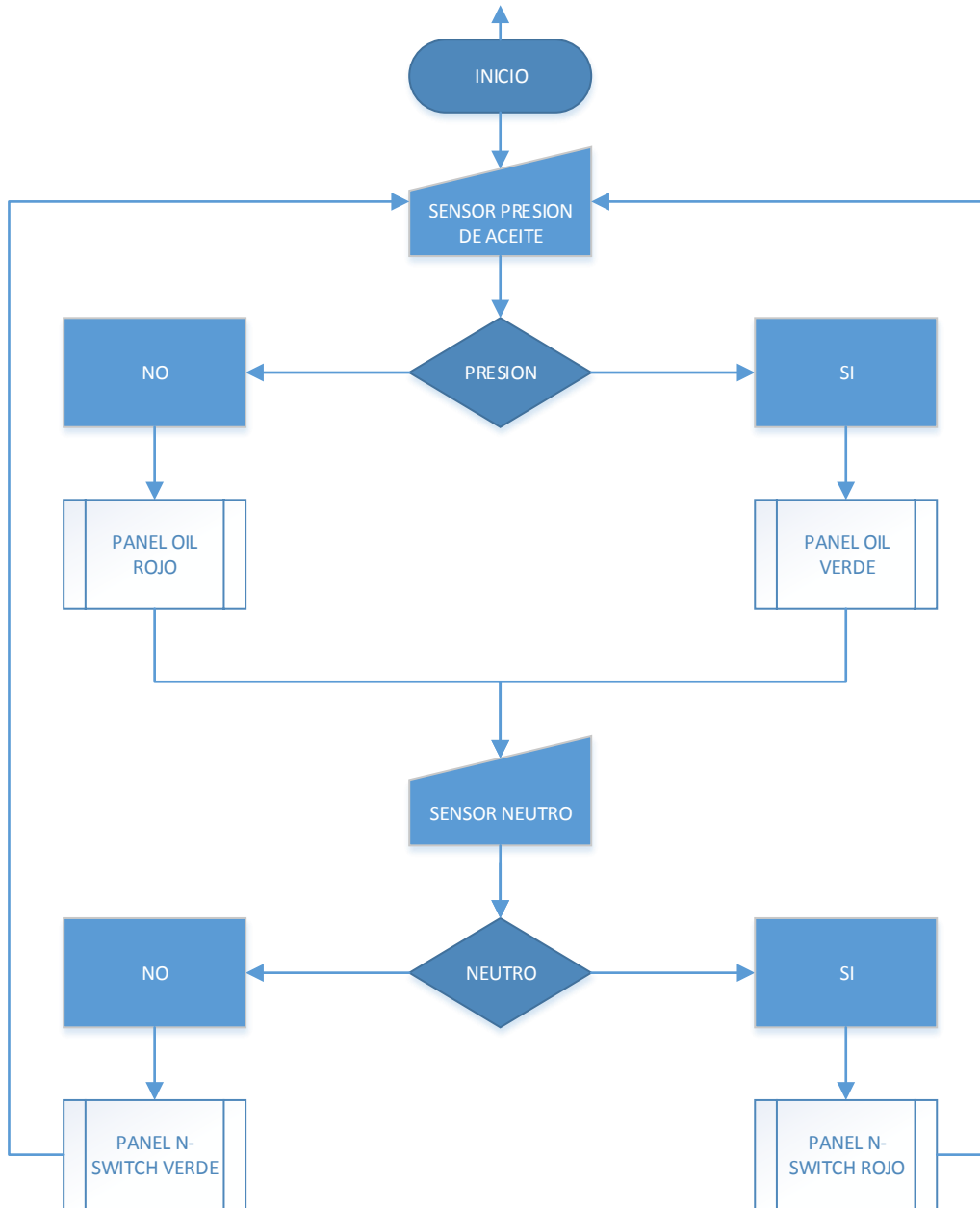
# LECTURA Y VISULIZACION RPM



## LECTURA Y VISULIZACION TEMPERATURA

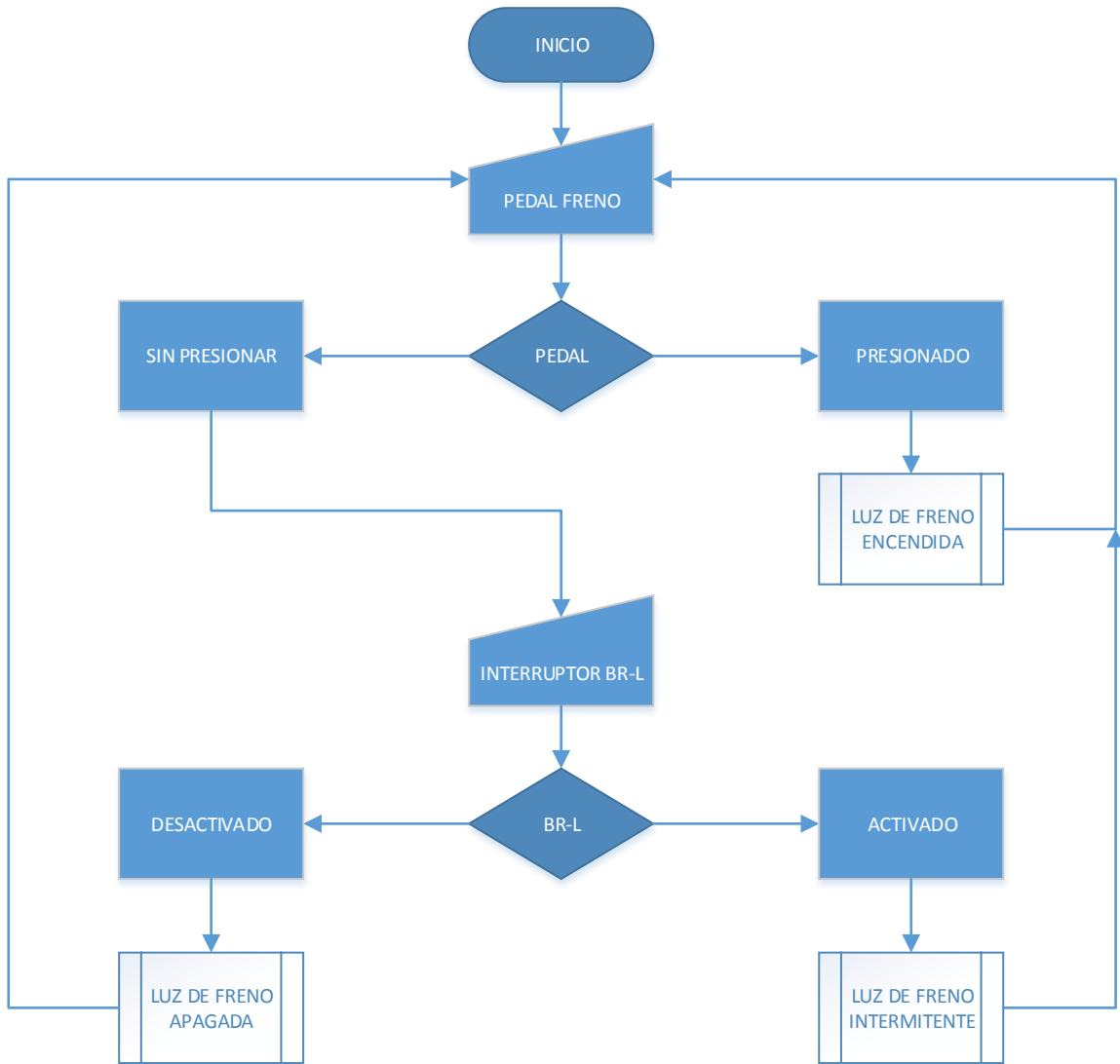


# LECTURA Y VISULIZACION PRESION DE ACEITE Y NEUTRO

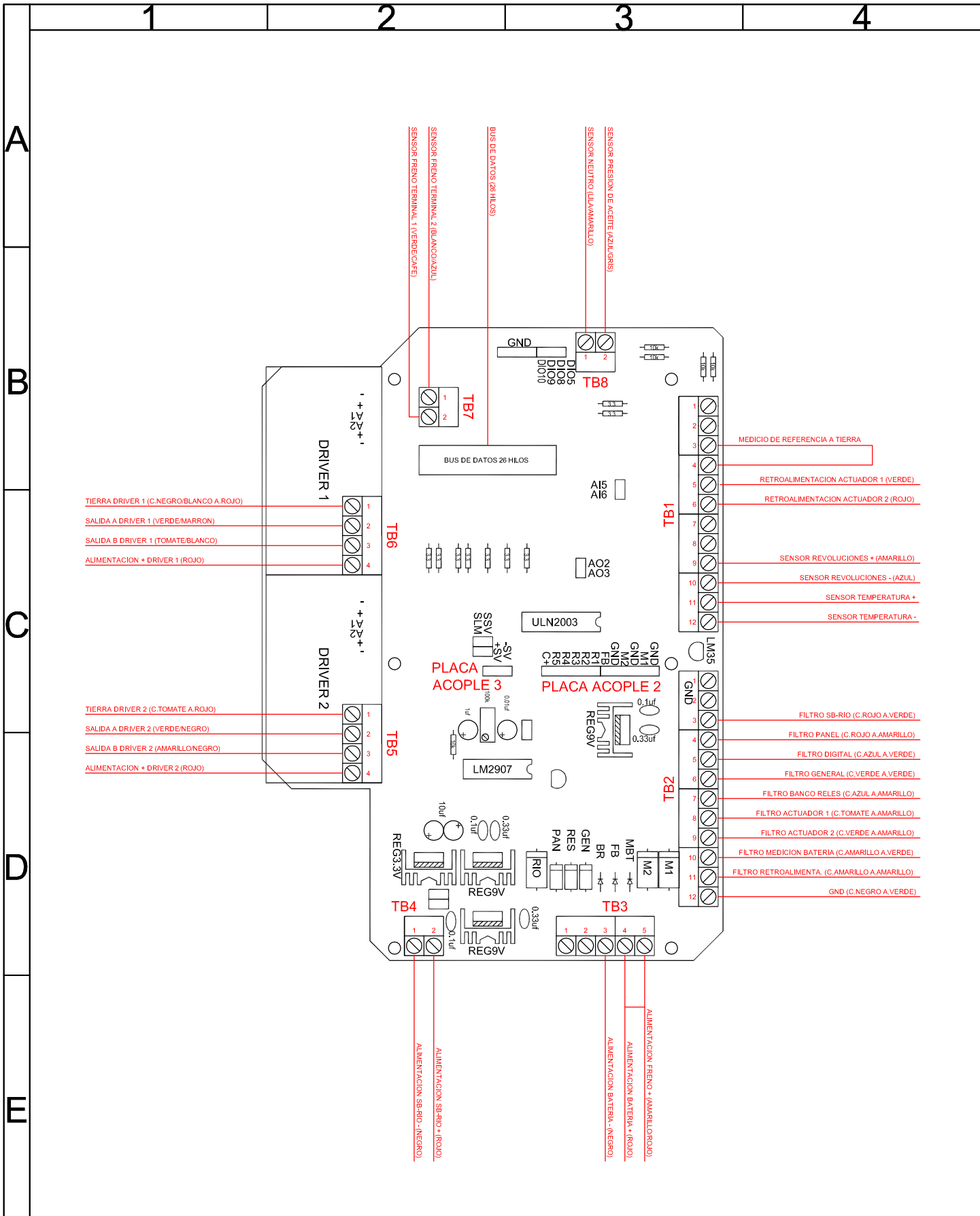




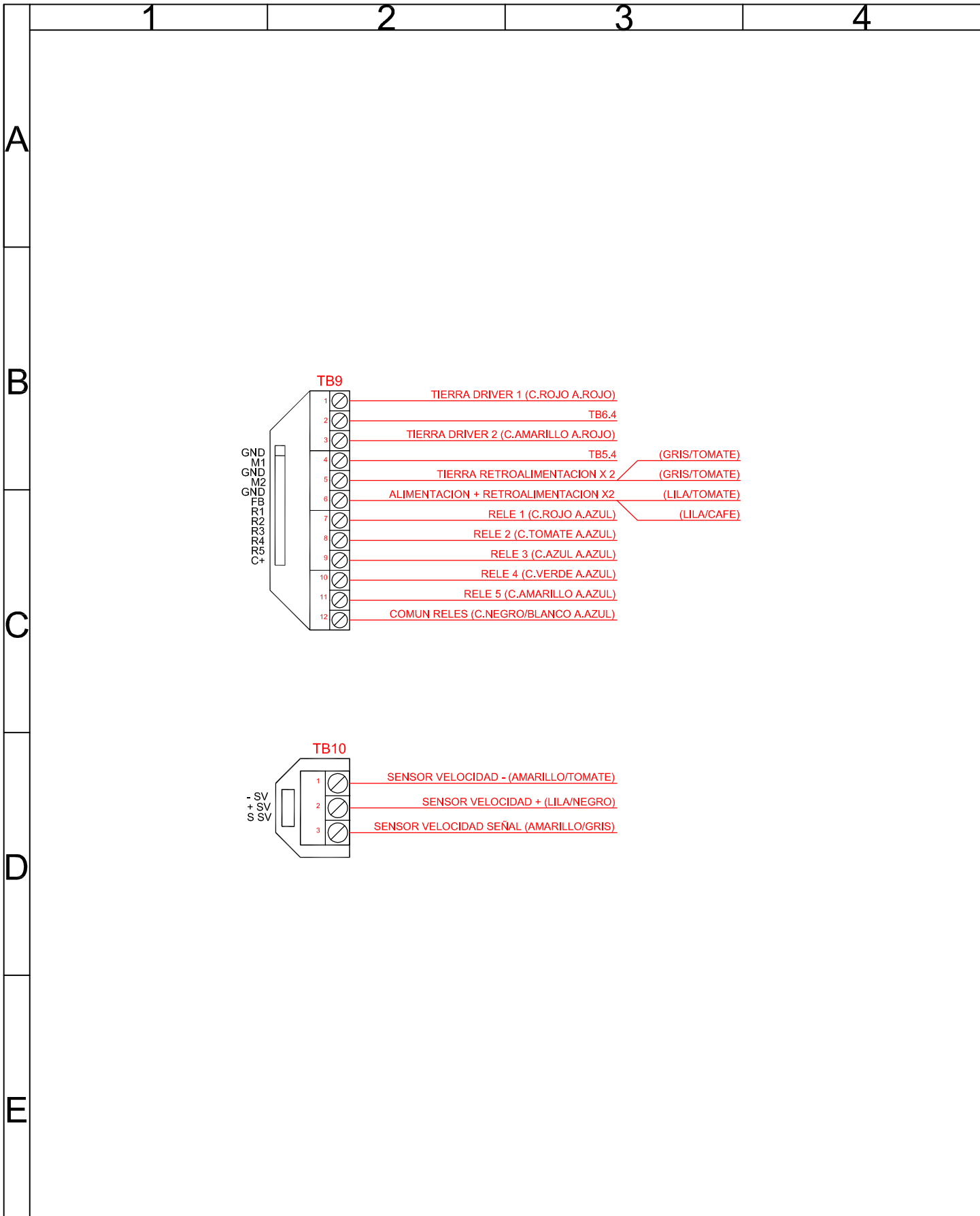
# LUZ DE FRENO



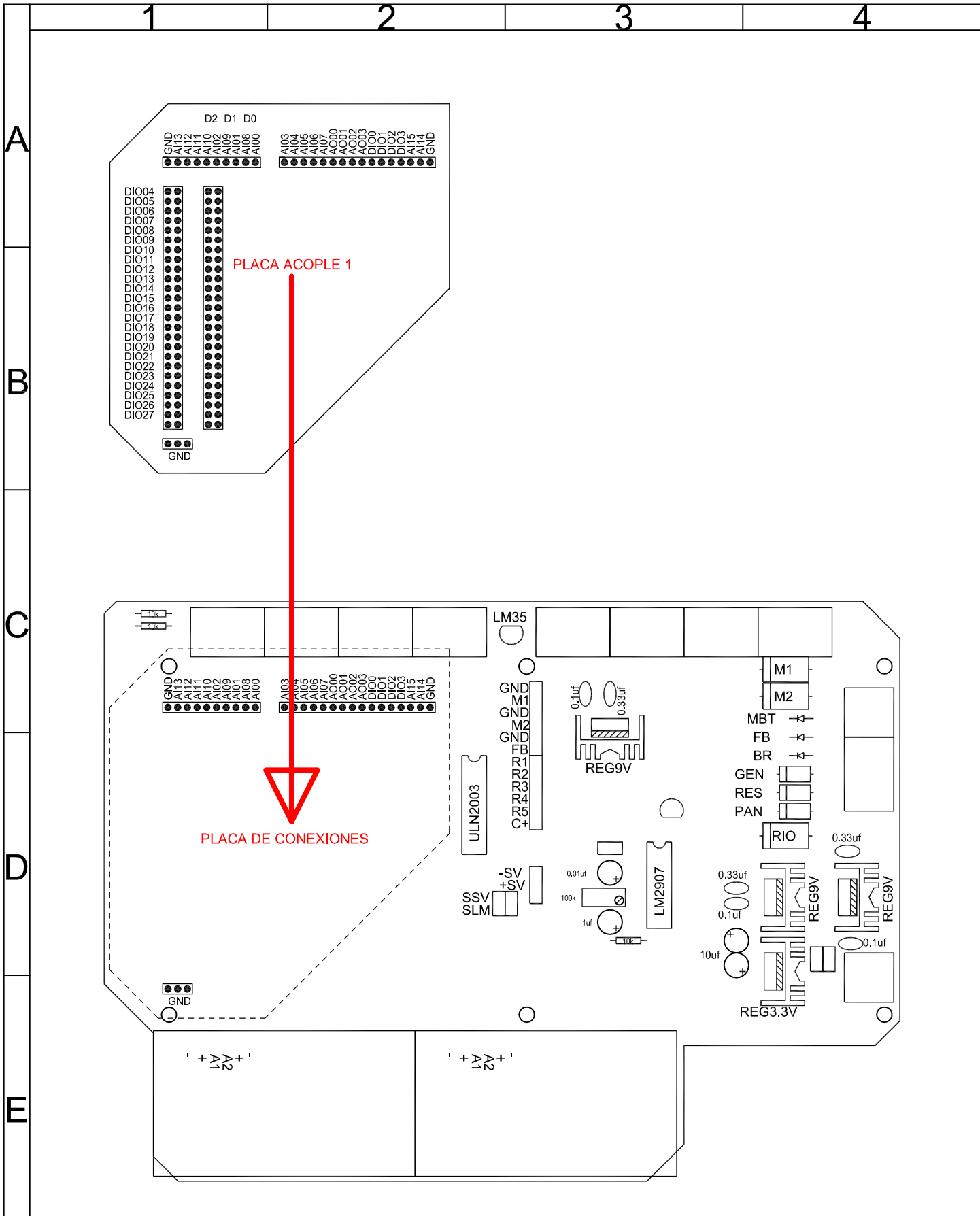
**ANEXO C**



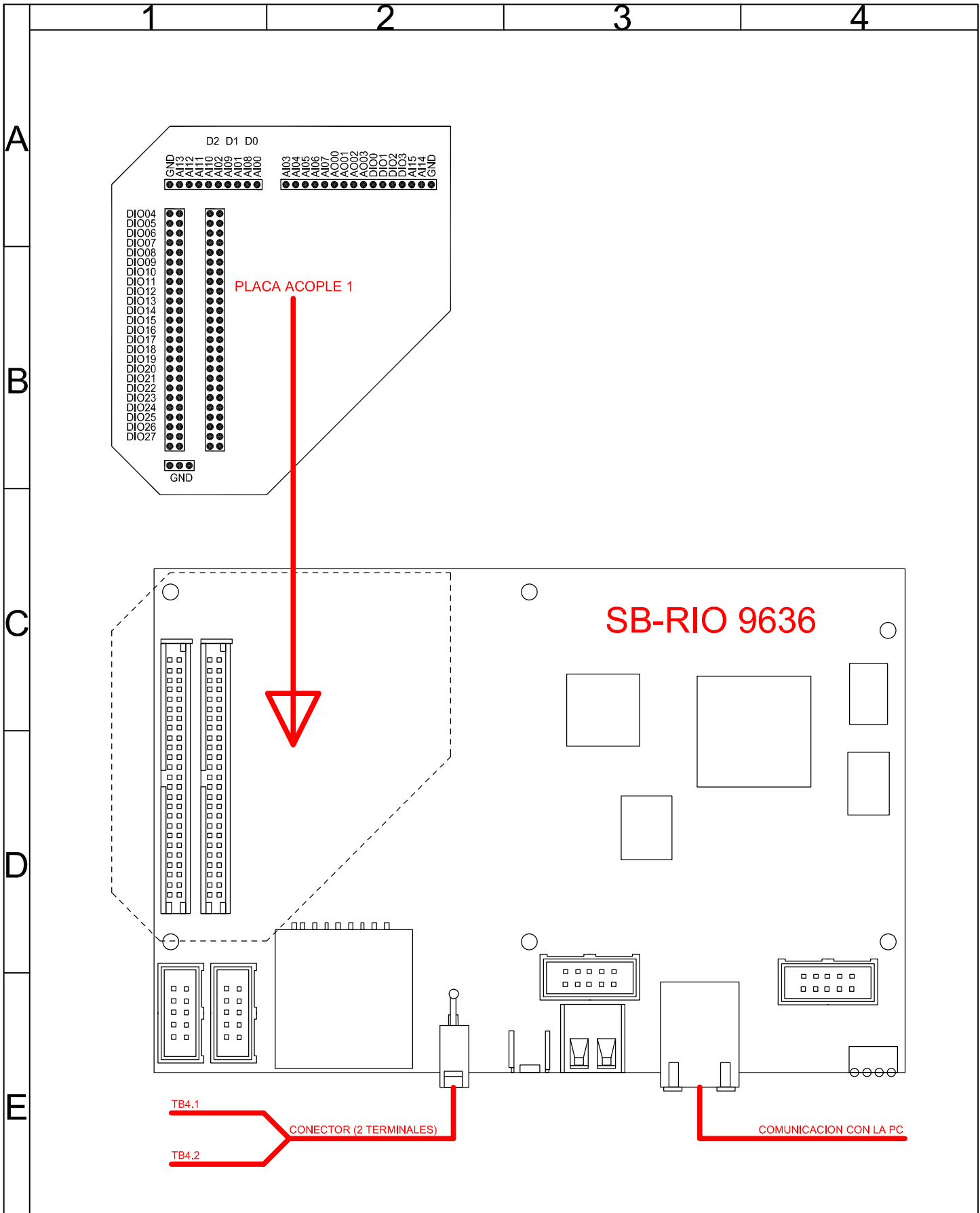
				Tolerancias	(Peso)	UFA ESPE-L		
				Fecha	Nombre			
				Dib.	Lara, Gordillo	BORNERAS PLACA DE CONEXIONES	Escala	
				Reb.	Mena, Trávez			
				Apro.	Mena, Trávez			
Edi-cion	Modifi-cacion	Fecha	Nombre	Firma / Empresa			1	Marca de Registro
							(Sustitucion)	



				Tolerancias	(Peso)	UFA ESPE-L	
				Fecha	Nombre	PLACA ACOPLE 2 Y 3	Escala
				Dib.	Lara, Gordillo		
				Reb.	Mena, Trávez		
				Apro.	Mena, Trávez		
				Firma / Empresa		2	Marca de Registro
Edi-cion	Modifi-cacion	Fecha	Nombre			(Sustitucion)	



				Tolerancias	(Peso)	UFA ESPE-L	
				Fecha	Nombre	PLACA ACOPLE 1 A PLACA CONEXIONES	Escala
			Dib.		Lara, Gordillo		
			Reb.		Mena, Trávez		
				Apro.	Mena, Trávez		
				Firma / Empresa		3	Marca de Registro
Edi-cion	Modifi-cacion	Fecha	Nombre			(Sustitucion)	



				Tolerancias	(Peso)	UFA ESPE-L	
						PLACA ACOPLE 1 A SB-RIO	Escala
				Fecha	Nombre		
				Dib.	Lara, Gordillo		
				Reb.	Mena, Trávez		
				Apro.	Mena, Trávez		
				Firma / Empresa		4	Marca de Registro
Edi-cion	Modifi-cacion	Fecha	Nombre			(Sustitucion)	

1

2

3

4

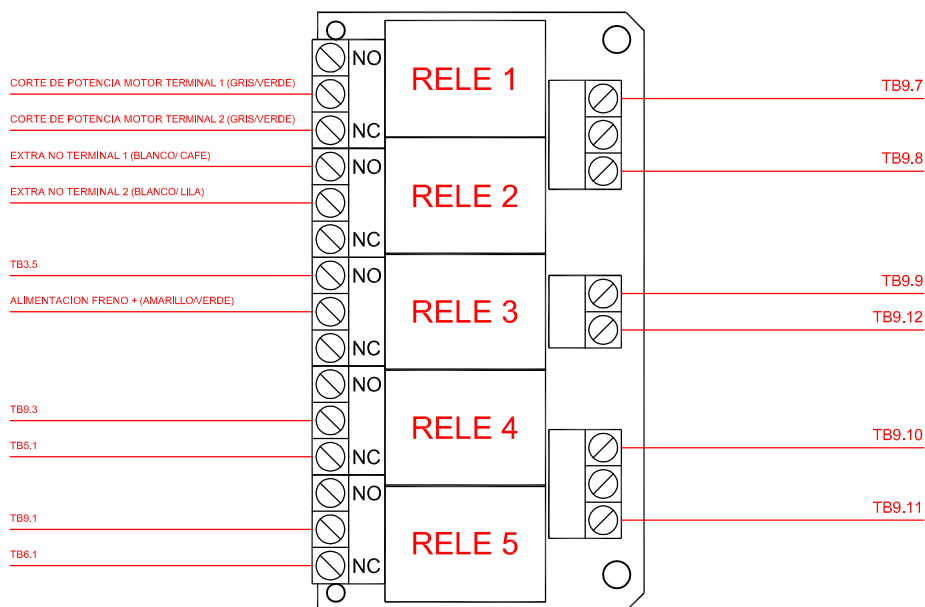
A

B

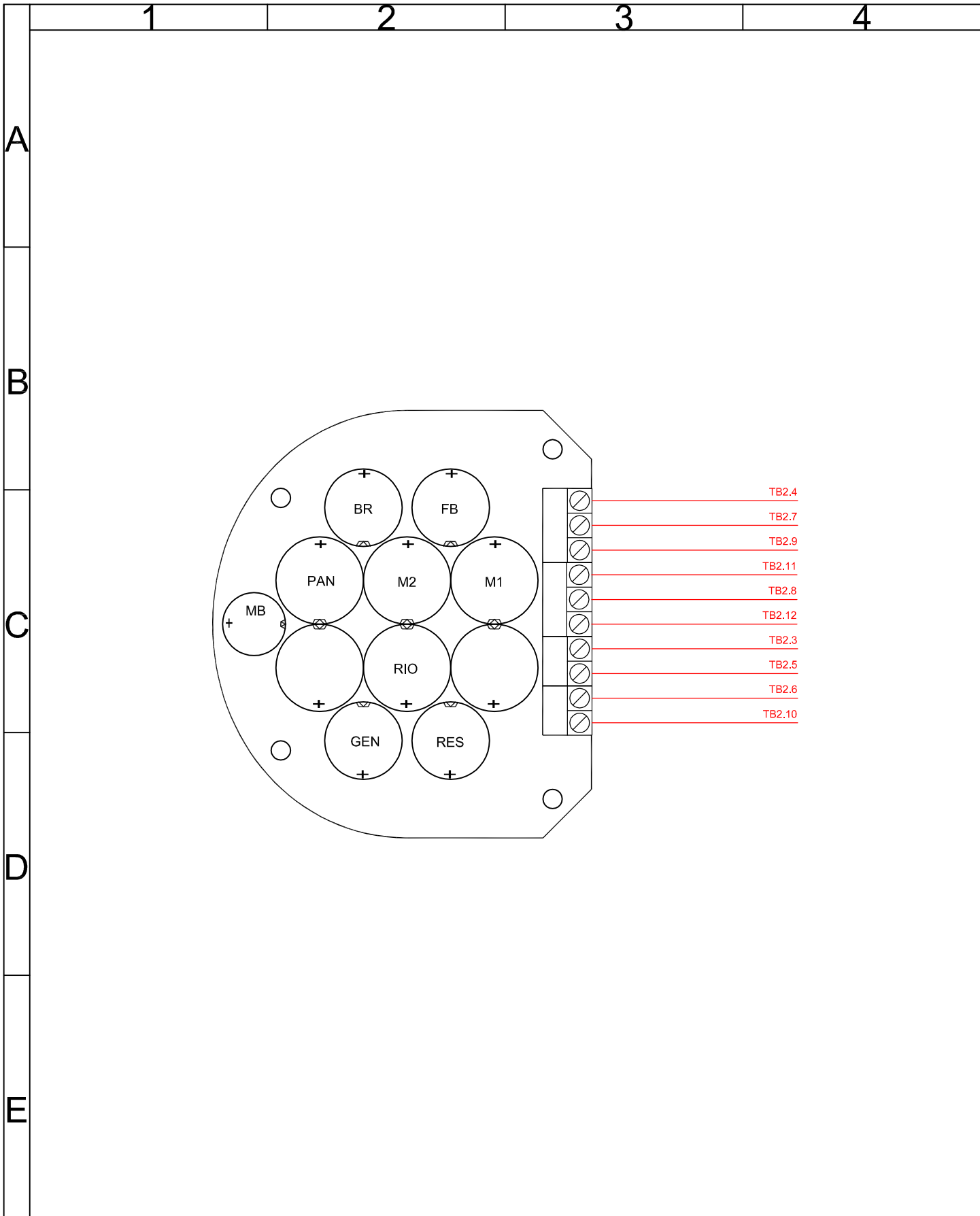
C

D

E

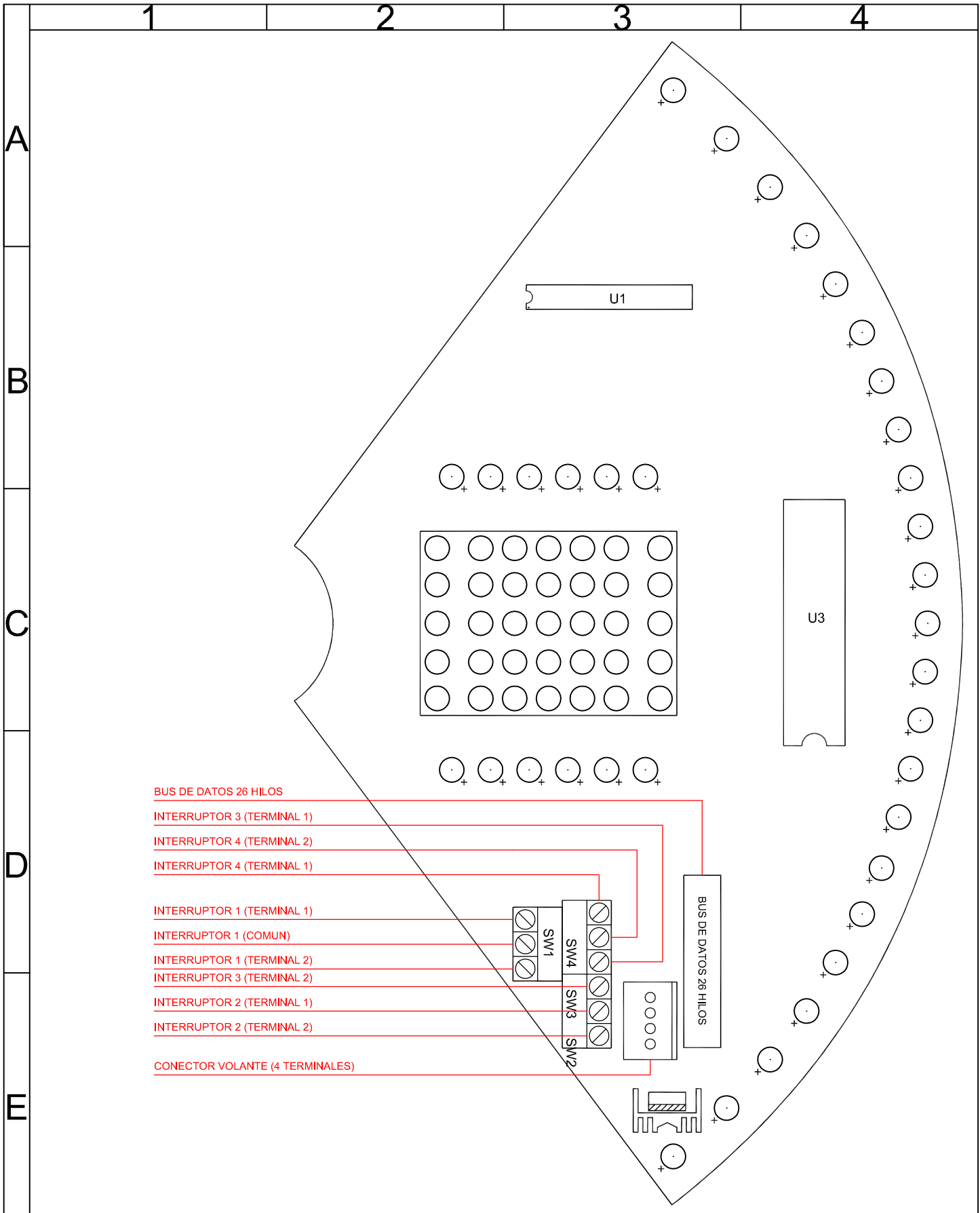


				Tolerancias	(Peso)	UFA ESPE-L	
				Fecha	Nombre	PLACA DE RELES	Escala
				Dib.	Lara, Gordillo		
				Reb.	Mena, Trávez		
				Apro.	Mena, Trávez		
				Firma / Empresa		5	Marca de Registro
Edi- cion	Modifi- cacion	Fecha	Nombre			(Sustitucion)	



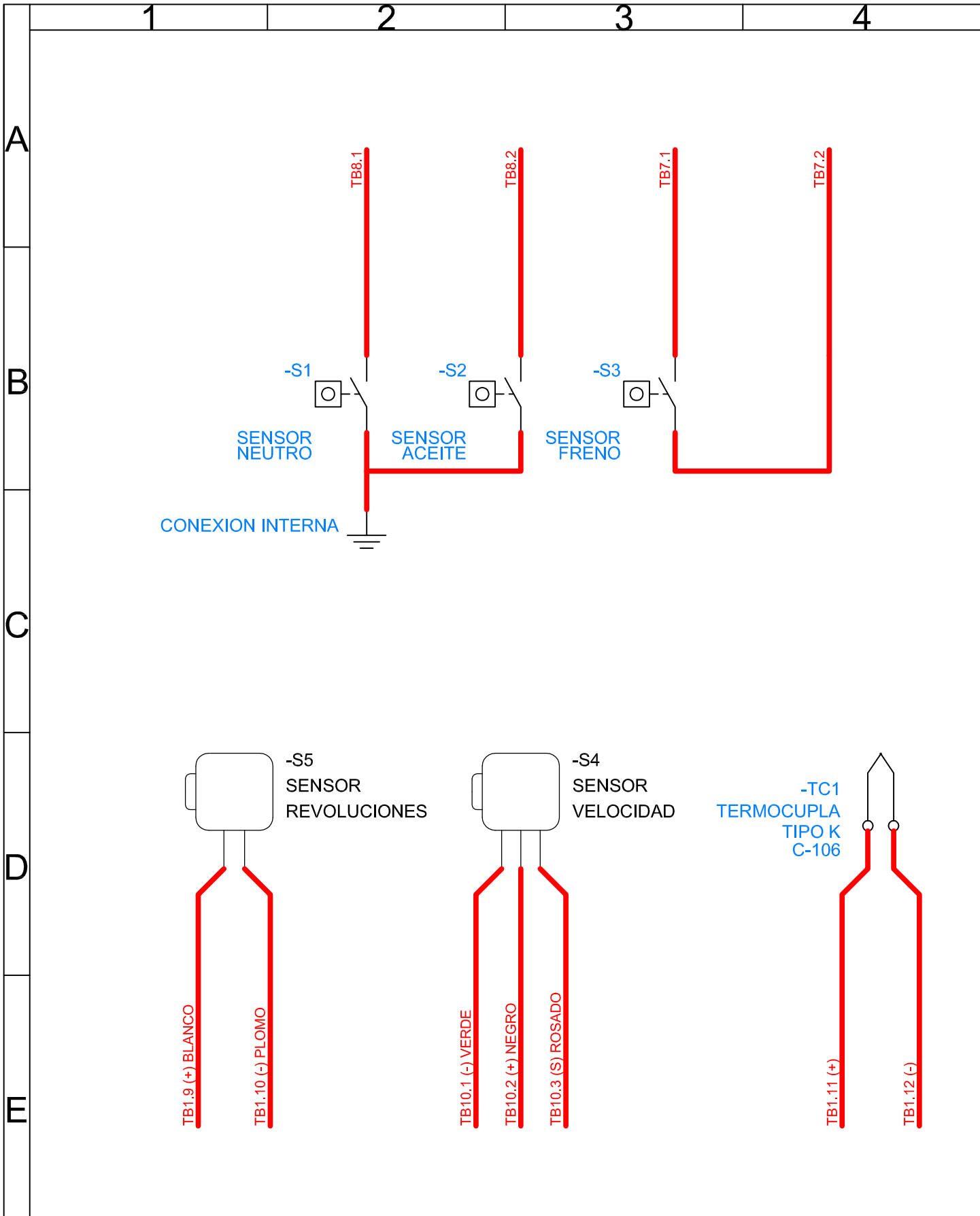
				Tolerancias	(Peso)	UFA ESPE-L	
						PLACA DE CONDENSADORES	Escala
				Fecha	Nombre		
				Dib.	Lara, Gordillo		
				Reb.	Mena, Trávez		
				Apro.	Mena, Trávez		
				Firma / Empresa		6	Marca de Registro
Edi-cion	Modifi-cacion	Fecha	Nombre			(Sustitucion)	





				Tolerancias	(Peso)	UFA ESPE-L	
						TABLERO	Escala
				Fecha	Nombre		
				Dib.	Lara, Gordillo		
				Reb.	Mena, Trávez		
				Apro.	Mena, Trávez		
				Firma / Empresa		7	Marca de Registro
Edi-cion	Modifi-cacion	Fecha	Nombre			(Sustitucion)	





				Tolerancias	(Peso)	UFA ESPE-L	
						SENSORES	Escala
				Fecha	Nombre		
				Dib.	Lara, Gordillo		
				Reb.	Mena, Trávez		
				Apro.	Mena, Trávez		
				Firma / Empresa		9	Marca de Registro
Edi-cion	Modifi-cacion	Fecha	Nombre			(Sustitucion)	

**ANEXO D**

## Manual de Usuario

### Contenido

1	Glosario:.....	2
1.1	Interruptores: .....	2
1.2	Botones al volante: .....	2
1.3	Indicadores: .....	2
2	Antes de usar:.....	2
3	Modo de uso: .....	3
3.1	Inicio del sistema:.....	3
3.2	Interruptor N-D.....	3
3.3	Iniciar el movimiento .....	4
3.4	Modo manual MT:.....	4
3.5	Modo automático AT: .....	4
3.6	Modo semi-automático S/AT: .....	4
3.7	Interruptor CUT:.....	5
3.8	Interruptor BR-L:.....	5
4	En caso de falla .....	5
4.1	No ingresa primera desde neutro:.....	5
4.2	No se reconoce la marcha actual: .....	5
4.3	El indicador de temperatura TEMP se encuentra en rojo:.....	5
5	Recomendaciones: .....	6

## 1 Glosario:

### 1.1 Interruptores:

**STOP:** Paro de emergencia.

**START:** Arranque del vehículo

**N:** Neutro, o posición de parqueo.

**D:** Drive, o posición para movimiento

**AT:** Modo automático

**S/AT:** Modo semi-automático

**MT:** Modo manual

**BR-L:** Brake light, o luz de freno intermitente

**CUT:** Modo de corte de ignición.

### 1.2 Botones al volante:

**DERECHO:** Marcha ascendente.

**IZQUIERDO:** Marcha descendente.

### 1.3 Indicadores:

**RPM:** Conjunto de 23 LED, cada led encendido indica 500RPM

**MARCHA:** Matriz de led, indica en la marcha que se encuentra.

**TEMP:** Temperatura medida del procesador.

**OIL:** Presión de aceite. (ROJO: no existe presión de aceite)

**N Switch:** Indica que la posición neutral fue alcanzada. (ROJO: Neutro alcanzado)

## 2 Antes de usar:

- Comprobar todo tipo de conexión de los dispositivos.
- Revisar el ajuste de todos los elementos de sujeción.

- Liberar el paro de emergencia.
- Revisar que las baterías se encuentren totalmente cargadas  $V > 12,3V$
- Utilizar todos los elementos de seguridad.

**Nota:** Si llegase a existir lecturas erróneas, revisar las conexiones de los sensores específicamente.

### **3 Modo de uso:**

#### **3.1 Inicio del sistema:**

Una vez energizado el sistema por medio del Master Switch, el sistema se iniciará automáticamente, el proceso de inicio se completará después que el indicador de temperatura TEMP se encienda, esto puede tomar varios segundos (Aproximadamente 30s).

El indicador de marchas MARCHA presentará una E si el interruptor (N-D) se encuentra en neutro N, y el vehículo se encuentra en primera, o el interruptor se encuentra en drive D, y el vehículo se encuentra en posición neutral.

**Nota:** Este no es un error; pero para que el sistema inicie, posicione el interruptor en la posición correcta. Siempre y cuando no se hayan manipulado los interruptores con el vehículo apagado esto nunca sucederá.

#### **3.2 Interruptor N-D**

Al iniciar el sistema, automáticamente reconoce si el vehículo se encuentra en primera o neutro.

Si se encuentra en primera, el vehículo está embragado y el interruptor en posición drive D, al realizar el cambio del interruptor a neutro N, cambia de marcha a primera, luego libera el embraga. Para verificar, el indicador de neutro (N-Switch) debe cambiar de verde a rojo.

Si se encuentra en neutro, el vehículo está desembragado y el interruptor en posición neutral N, al realizar el cambio del interruptor a drive D, presiona el embrague, luego cambia de marcha a primera. Para verificar, el indicador de neutro N-Switch debe cambiar de rojo a verde.

### 3.3 Iniciar el movimiento

Para iniciar el movimiento del vehículo, el interruptor N-D debe estar en drive D; para que esto suceda requiere mantener el pedal del acelerador a fondo, sin oscilaciones hasta que el vehículo haya ganado velocidad.

### 3.4 Modo manual MT:

Para colocar el sistema en modo manual, posicione el switch AT-S/AT-MT en la posición manual MT.

En este modo de funcionamiento, el embrague y el corte de ignición son operados automáticamente por el sistema, el usuario debe encargarse del ascenso y descenso de las marchas por medio de los botones en el volante.

**Nota:** Recuerde posicionar en 1ra el vehículo antes de detenerse y mantener el acelerador a fondo hasta que el vehículo inicie el movimiento.

### 3.5 Modo automático AT:

Para colocar el sistema en modo automático, posicione el switch AT-S/AT-MT en la posición AT.

En este modo de funcionamiento, el embrague, el corte de ignición y el ascenso y descenso de las marchas son operados automáticamente por el sistema, el usuario únicamente debe encargarse del acelerador, no admite control por los botones al volante.

**Nota:** Mantener el acelerador a fondo hasta que el vehículo inicie el movimiento.

### 3.6 Modo semi-automático S/AT:

Para colocar el sistema en modo semi-automático, posicione el switch AT-S/AT-MT en la posición S/AT.

En este modo de funcionamiento, el embrague, el corte de ignición y el ascenso y descenso de las marchas son operados automáticamente por el sistema, a su vez el usuario también tiene control sobre el ascenso y descenso de las marchas.

Este modo de funcionamiento, puede ser controlado por el usuario de forma manual (accionando los botones), o de forma automática (dejando que el sistema dé las órdenes)

**Nota:** Mantener el acelerador a fondo hasta que el vehículo arranque.



### 3.7 Interruptor CUT:

Este interruptor, varía la velocidad del corte de ignición, en la posición inferior el tiempo es mayor al de la posición superior. El tiempo de corte pre programado es de 0,3s.

### 3.8 Interruptor BR-L:

Este interruptor, controla la luz de freno, al activarlo se vuelve intermitente (uso recomendado para la lluvia), al mantenerlo desactivado funciona normalmente.

## 4 En caso de falla

### 4.1 No ingresa primera desde neutro:

Esta falla se produce cuando la caja de cambios del motor se encuentra bloqueada, recuérdese que al ser un motor de motocicleta requiere de pequeños movimientos en las ruedas para desbloquearse.

**Solución:** Empujar adelante y atrás el vehículo varios centímetros mientras el interruptor N-D es cambiado de posición, repetir este proceso hasta que la luz de neutro N Switch pase a color verde.

### 4.2 No se reconoce la marcha actual:

Esto se produce cuando se forzó el apagado del vehículo en movimiento, y el sistema perdió la marcha en la que se quedó.

**Solución:** Colocar el sistema en modo manual MT, y mediante los botones realizar los cambios hasta llegar a primera, movilizar el vehículo hacia adelante y hacia atrás, para facilitar el ingreso de los cambios.

### 4.3 El indicador de temperatura TEMP se encuentra en rojo:

Al encontrarse cerca del tubo de escape, el controlador puede llegar a calentarse, aunque el sistema se encuentre aislado, y soporte altas temperaturas (80°C), deben tomarse medidas de seguridad.

**ANEXO F**  
**ARTÍCULO CIENTÍFICO**

# “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CAMBIADOR DE MARCHAS INTELIGENTE UTILIZANDO SISTEMAS FPGA PARA EL PROTOTIPO FESPE 2013”

Gordillo Edison<sup>1</sup>, Lara Luis<sup>2</sup>, Mena Euro<sup>3</sup>, Travez Wilson<sup>4</sup>

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí - Ecuador.

xaviergor@gmail.com<sup>1</sup>, luis-7591@hotmail.com<sup>2</sup>, ermena@espe.edu.ec<sup>3</sup>, wotravez@espe.edu.ec<sup>4</sup>

**Resumen**— Utilizando una tarjeta con procesamiento Real-Time, la SbRio 9636 de National Instruments y 2 motores lineales DC eléctricos, se logró automatizar el sistema de accionamiento del cambio de marchas y el embrague de la caja de velocidades de un motor Yamaha CBR 600f4i, incorporado en un vehículo prototipo Formula Student que compitió en agosto del 2014 en Alemania.

El sistema instalado tiene 3 modos de funcionamiento que son: Manual, Automático y semi-automático. Mejorando la aceleración del vehículo y dando mayor ergonomía al piloto para el control y variación de las velocidades.

**Palabras Clave**—: Automatización caja de velocidades, automatización de embrague, vehículo de competencia, Formula Student,

## 1 INTRODUCCIÓN

La Formula Student [1] es la competencia educativa de automovilismo mejor establecida a nivel mundial, organizada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE por sus siglas en inglés) [2]. Para el evento, estudiantes de las Universidades de los cinco continentes, son desafiadas a construir un vehículo monoplaza, con el fin de competir en pruebas estáticas y dinámicas [3], en la cuales demostrarán el desarrollo de ingeniería, los procesos de fabricación y desempeño.

Como una de las formas para mejorar el desempeño del vehículo prototipo Formula Student, se automatizó el sistema de accionamiento de los cambios de marchas en la caja de velocidades de un motor Honda de motocicleta, consiguiendo la reducción de tiempos en los cambios y aumento de la tracción.

La caja de velocidades intervenida es secuencial y para la investigación se analizó el funcionamiento de las cajas automáticas [4], los sistemas de accionamiento y las cajas de velocidades de los automóviles [5].

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS.

Por medio del estudio de campo y revisión bibliográfica, se han determinado las necesidades y requerimientos del sistema para la selección de los componentes incorporados en el sistema de accionamiento de la caja de velocidades del vehículo prototipo Formula Student.

### 2.1 CRITERIOS TÉCNICOS

En el criterio de diseño se consideró que el sistema a incorporarse en el vehículo debe ser compacto, liviano y aumente la eficiencia del sistema mecánico instalado inicialmente.

La naturaleza de la competencia fomenta la construcción de elementos innovadores de menor costo y su durabilidad para la semana de competencia. Por la misma razón los diseños mantienen el menor factor de seguridad admisible y uso de recursos.

Varios objetivos de diseño se han postulado para facilitar la construcción del sistema cambiador de marchas inteligente como se muestran a continuación:

- Definir y seleccionar la arquitectura de control para el sistema.
- Seleccionar, definir y situar los elementos que formarán parte del sistema inteligente.
- Seleccionar componentes de medición y de actuación.

## 2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

El sistema debe poseer ciertas características, que permitan una buena ergonomía con el usuario, una gran velocidad de respuesta, un fácil uso del sistema, una gran flexibilidad en los dispositivos, controles predictivos y un inteligente funcionamiento. Como objetivos de funcionamiento y construcción se han enumerado los siguientes:

- Indicar la marcha en la que se encuentra la caja de velocidades;
- Mostrar las revoluciones del motor en un panel de instrumentos;
- Procesar la velocidad del vehículo y RPM del motor;
- Poseer control de usuario en el volante;
- Actuar sobre el sistema de accionamiento del cambio de marchas;
- Actuar sobre la palanca de embrague del vehículo.
- Poseer un procesador capaz de realizar las tareas eficientemente.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MOTOR DONDE SE IMPLEMENTARÁ EL SISTEMA

A continuación se describen las características del motor adquirido por el Equipo FESPE, en donde se realizará la implementación del sistema cambiador de marchas inteligente que propone este estudio. Véase la Tabla 1: Motor HONDA CBR 600 f4i

Tabla 1: Motor HONDA CBR 600 f4i [6]

NOMBRE DEL MOTOR	HONDA CBR 600 F4i
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor de 4 tiempos</li> <li>• 599 cc configuración DOHC</li> <li>• 109 HP configuración de fábrica</li> <li>• 60 HP aproximados (restringido por reglamento)</li> <li>• 170 Kg de peso</li> <li>• 2000 rpm de ralentí</li> <li>• 14,200 rpm máximas</li> </ul>
<b>TIPO DE EMBRAGUE</b>	Húmedo de discos múltiples, operado por cable
<b>CAJA DE CAMBIOS</b>	6 velocidades, de contacto continuo, configuración secuencial (1, N, 2, 3, 4, 5, 6)

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

## 2.4 SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA

Según las necesidades del sistema, se ha dividido para analizarlos independientemente, porque cada sector requiere de estudios separados y diferentes, las necesidades del sistema serán agrupadas idealmente como se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Agrupación de requerimientos

SECTOR SISTEMA	DEL	OBJETIVOS DE DISEÑO
<b>Lectura de Sensores</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor velocidad</li> <li>• Sensor revoluciones</li> <li>• Sensor posición neutral</li> <li>• Presión de aceite.</li> </ul>
<b>Actuadores</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palanca de embrague</li> <li>• Palanca de cambio de marcha</li> </ul>
<b>Indicadores en General</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicar la marcha.</li> <li>• Mostrar las revoluciones del motor.</li> <li>• Indicador presión de aceite y otros</li> </ul>
<b>Control de Usuario</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selector de modo de accionamiento de la caja de cambio.</li> <li>• Pulsadores para selección de marcha.</li> </ul>

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

## 2.5 REQUERIMIENTOS DEL PANEL DE INSTRUMENTOS

Es necesario un panel simple, liviano y lo menos costoso posible. Como elementos y requerimientos del panel, véase Tabla 3: Elementos y requerimientos del panel de instrumentos.

Tabla 3: Elementos y requerimientos del panel de instrumentos

DISPOSITIVO REQUERIDO	ELEMENTO SELECCIONADO
Tacómetro	Conjunto de LEDs de colores (Verdes, Naranja y rojo)
Indicador de marchas	Matriz de LEDs
Luces indicadoras (Temperatura y Aceite)	LEDs de colores (Verde y Rojo)
Selectores de modo de cambio de marcha	3 Switches de dos posiciones
Apagado de emergencia	Switch de desconexión tipo Paro de emergencia
Botón de arranque	Pulsador color verde de 3A

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

Después de la medición del espacio disponible y de la integración de los elementos de control requeridos, se diseñó el panel como se muestra en la Figura 1: Panel de instrumentos



Figura 1: Panel de instrumentos  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

Después del diseño requerido para la visualización se realizó las conexiones para la placa de baquelita, quienes servirán como soporte para los instrumentos y los indicadores. El panel de instrumentos mantendrá un bus de comunicación; es decir, un solo grupo de cables de salidas y entradas, para esto se codificará y decodificarán las señales mediante microcontroladores AVR, véase la Figura 2: Diseño del PCB a dos capas para el panel de instrumentos.

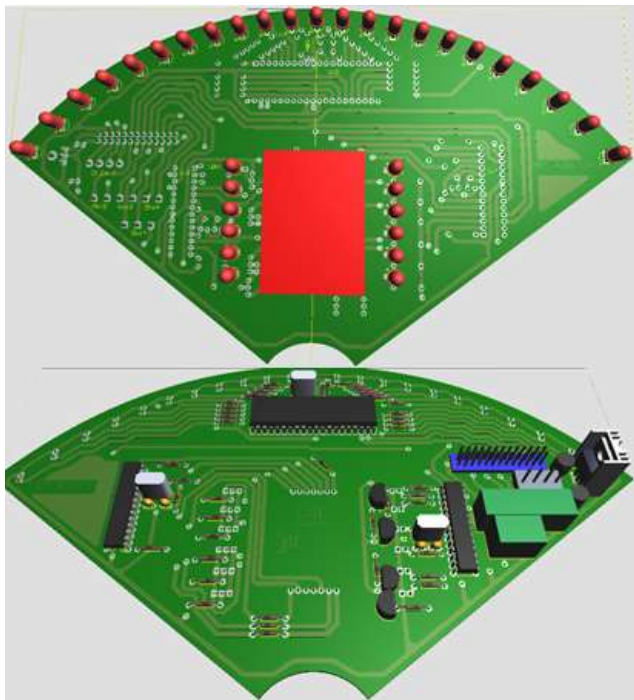


Figura 2: Diseño del PCB a dos capas para el panel de instrumentos  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

### 2.6 REQUERIMIENTOS DEL VOLANTE CON MANDOS DE CONTROL

La organización permite exclusivamente el uso de volantes homologados y la modificación de estos; es por eso [7], que con base a la teoría de ergonomía, se diseñó un adaptador

para el volante donde se incluyen los elementos del control de usuario. Para un mejor funcionamiento se consideró los siguientes requerimientos:

- Los mandos de control facilitan la acción del usuario sin retirar las manos del volante;
- Su posición no interfiere con la visibilidad del usuario y su movimiento dentro de la cabina;
- La estructura no interfiere con los elementos mecánicos dentro del habitáculo del piloto;
- El sistema de accionamiento es uno para subir marchas y otro para bajarlas; y
- El accionamiento mantienen la ergonomía y la rápida acción del usuario.

1) Los pulsadores seleccionados para el volante son concéntricos al volante y demandan solamente de una base que los soporte y 2 pulsadores que se adhieran a esta. Tabla 4: Descripción de los pulsadores concéntricos al volante

Tabla 4: Descripción de los pulsadores concéntricos al volante

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil acoplamiento al volante</li> <li>• Tamaño compacto</li> <li>• Bajo costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrarlos ser difícil.</li> <li>• Durante una curva puede resultar complicado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No ocupan mucho espacio, mantienen el volante simple sin dañarlo y sin elementos que estorben al piloto.</li> </ul>

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

### 2.7 BASE PARA FIJACIÓN DE LOS PULSADORES

Esta debe ser fácilmente acoplada al volante homologado, poseer suficientes propiedades mecánicas para su aplicación, mantener el menor costo de material y mecanizado que sea posible.

1) Elemento seleccionado: Placa de aluminio 6061, es comúnmente encontrada en los mercados ecuatorianos. Véase la Tabla 5: Características lámina de aluminio 6061

Tabla 5: Características lámina de aluminio 6061

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee gran maleabilidad</li> <li>• Su costo es bajo</li> <li>• Es un material muy común en el país</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee ligeramente más peso que las fibras compuestas</li> <li>• Con el uso, este material se fatiga fácilmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un material muy común, al ser una lámina es fácilmente moldeado. Posee una resistencia adecuada y tiene un peso relativamente bajo.</li> </ul>

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

El diseño propuesto contempla simplicidad y ergonomía [8], cumpliendo los objetivos de diseño propuestos, obsérvese la Figura 3: Pulsadores al volante



Figura 3: Pulsadores al volante  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

## 2.8 DISEÑO DEL SISTEMA ACTUADOR DE LA CAJA DE CAMBIOS Y DEL EMBRAGUE

El análisis para encontrar la posición ideal para cualquier elemento a incorporarse en el diseño inicial del vehículo es importante, para que no interrumpa la aerodinámica, la distribución de peso, la instalación del tren motriz, suspensiones y otros.

Un sistema es considerado mejor, cuando este ocupa el menor espacio posible, mínima cantidad de piezas, posee un bajo costo y poco peso. Varias opciones se han considerado para cada etapa de diseño.

Para poder dar inicio al diseño de actuadores y su posición es necesario empezar con la visualización de los elementos, donde debe considerarse la actuación, posición y movimiento. Figura 4: Posición de la palanca de cambios y de embrague

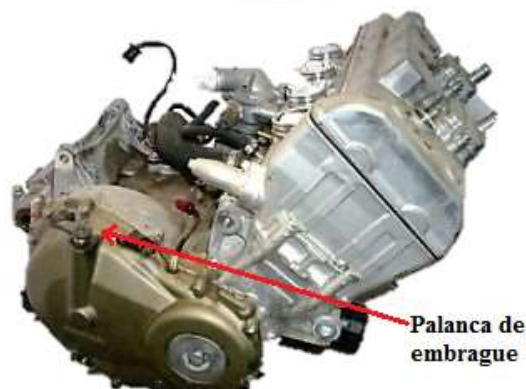
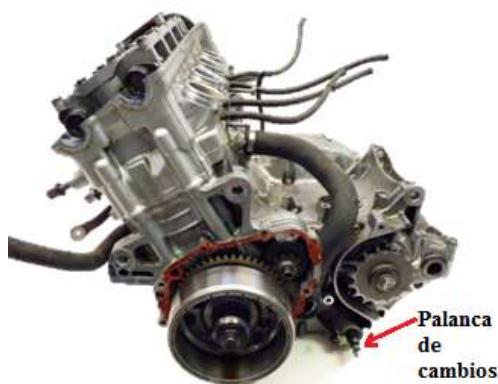


Figura 4: Posición de la palanca de cambios y de embrague  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

## 2.9 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA ACTUADOR DE LA CAJA DE CAMBIOS

Tiene un mecanismo capaz de presionar la palanca en sentido horario y en sentido anti horario. La palanca dispone de un movimiento definido para realizar el cambio de velocidad. A continuación se describen las ventajas que el sistema y actuador posee:

- Provoca movimiento en sentido horario y anti horario a la palanca.
- Cumple con el movimiento mínimo requerido para el cambio de marcha.
- Tiene alimentación de 12v.
- Alcanza en un espacio reducido.
- Vence el torque de 6,9 Nm.
- La distancia de aplicación de fuerza de la palanca de cambios es de 14 mm
- Tiempo mínimo de actuación: 0,344 seg

## 2.10 REQUERIMIENTOS DEL ACTUADOR DEL EMBRAGUE

Para desembragar, es necesario separar los discos de embrague, para conseguir esto se debe actuar sobre su

palanca externa, la que realiza un movimiento giratorio en sentido horario. Este mantiene los siguientes requerimientos:

- Provocar movimiento circular en sentido horario
- Vencer un torque de 8,1 Nm.
- Tener preferentemente alimentación de 12v.
- Alcanzar en el menor espacio posible.
- Tener un movimiento controlable respecto a su velocidad y posición

1) Elemento seleccionado para la actuación de la caja de cambios y del embrague: Motor eléctrico DC lineal. Es un motor con una caja reductora que convierte el giro del motor en un movimiento lineal a un eje o pistón. Este se alimenta de 12V y posee bases intercambiables para su instalación. Cada uno conectado directamente a la palanca de cambios y del embrague, a parte de su controlador no requiere de conexiones, ni elementos extras. Véase la Tabla 6: Características del motor eléctrico DC lineal

Tabla 6: Características del motor eléctrico DC lineal

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena velocidad</li> <li>• Tamaño compacto</li> <li>• Posee retroalimentación de posición</li> </ul>	Requiere de una modificación en la palanca de cambios para aprovechar bien su energía	Debe ser aprovechada su fuerza reduciendo el tamaño de la palanca para una actuación más rápida, la retroalimentación de posición garantiza el alcance de la nueva marcha. Al ser un motor DC se lo puede cambiar de sentido fácilmente.

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

Observe la Figura 5: Motor DC lineal, donde se observan los actuadores. [9]



Figura 5: Motor DC lineal

## 2.11 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL CONTROLADOR

Para la selección de un controlador óptimo, que funcione correctamente y que sea flexible para futuras adecuaciones y usos, se describirán los requerimientos que este debe poseer para poder ser utilizado.

Cada elemento y dispositivo anteriormente analizado posee sus controles y puertos de comunicación, el sistema controlador deberá poseer la cantidad suficiente de entradas y salidas para administrar los elementos, observe la Tabla 7: Entradas y salidas de los elementos del sistema

Tabla 7: Entradas y salidas de los elementos del sistema

ELEMENTO	No. ENTRADAS	No. SALIDAS	TIPO
<b>Retroalimentación posición actuadores (Marchas, Embrague)</b>	2		Analógicas
<b>Drivers de control actuadores</b>		2	Analógicas
<b>Switch neutral</b>	1		Digital
<b>Sensor RPM</b>	1		Analógica sin referencia a tierra (Diferencial)
<b>Sensor velocidad</b>	1		Analógica
<b>Sensor presión de aceite</b>	1		Digital
<b>Corte de ignición</b>		1	Digital
<b>Comunicación panel de control (Instrumentos, volante e indicadores)</b>		13	Bus de datos

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

## 2.12 PROCESO DE FUNCIONAMIENTO

En la Figura 6: Requerimientos de funcionamiento del sistema se muestra el tipo de lectura, procesamiento y funcionamiento que requiere el sistema.

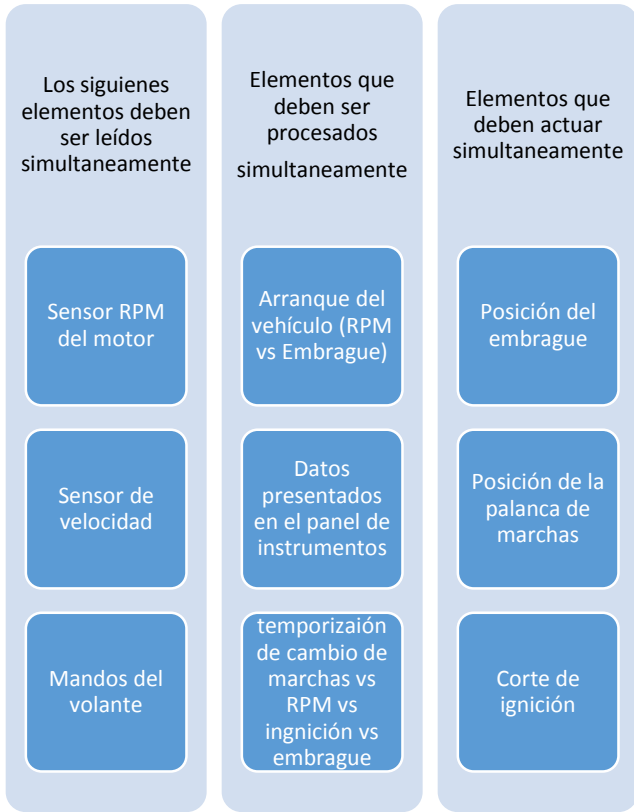


Figura 6: Requerimientos de funcionamiento del sistema  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

**2.13 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR**

La selección del controlador es la parte más importante de todo el sistema, de este depende su buen funcionamiento. Y como observaciones se tienen las siguientes:

- Debe poseer al menos 15 salidas digitales y analógicas
- Debe poseer al menos 6 entradas digitales y analógicas
- Debe contar por lo menos con un canal diferencial de lectura
- Debe ser capaz de realizar varios procesos simultáneamente
- Debe ser capaz de leer variables en tiempo real

1) Debido a la disponibilidad y al cumplimiento de los requerimientos se ha seleccionado la tarjeta SbRio 9636 de National Instrument [10]

**2.14 ARQUITECTURA DEL SISTEMA**

Las características y funcionamiento de la tarjeta permiten una programación en paralelo, y procesamiento en tiempo real [11]. Figura 7: Arquitectura del sistema

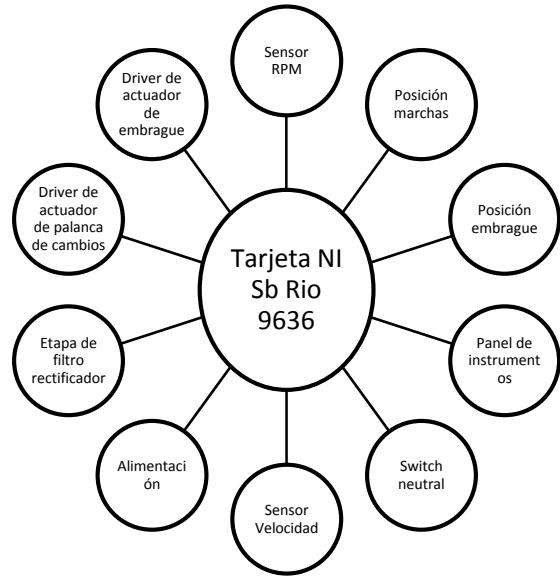


Figura 7: Arquitectura del sistema  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

**3 FUNCIONAMIENTO**

Para mejorar el rendimiento del vehículo se ha optado por la implementación de 3 modos de funcionamiento: manual, automático y semiautomático que se describen a continuación.

**3.1 MODO MANUAL**

En este modo el funcionamiento del sistema depende del usuario, respecto a la programación, esta otorga la mayor parte del control al operario, de todas maneras en este modo de funcionamiento se lee todas las variables y se las continúa procesando.

En este modo de funcionamiento, el embrague y el corte de ignición son operados automáticamente por el sistema, el usuario debe encargarse del ascenso y descenso de las marchas por medio de los botones en el volante. Véase la Figura 8: Algoritmo de funcionamiento del modo manual

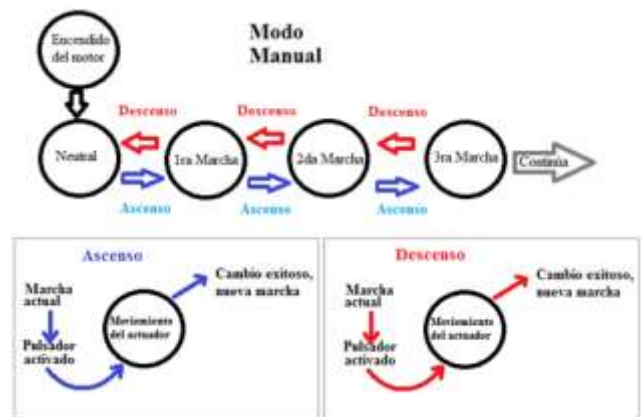


Figura 8: Algoritmo de funcionamiento del modo manual  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara



### 3.2 MODO AUTOMÁTICO

Este es un modo creado única y específicamente para la obtención de la mayor aceleración del vehículo, cabe recalcar que este modo de funcionamiento no posee similitudes con el funcionamiento de una caja de cambios automática de un vehículo de calle convencional, pues el modo automático que este estudio propone no tiene como objetivo el confort del usuario.

En este modo de funcionamiento, el embrague, el corte de ignición, el ascenso y descenso de las marchas son operados automáticamente por el sistema, el usuario únicamente debe encargarse del acelerador, no admite control con los botones al volante.

El objetivo principal para este modo de funcionamiento es la prueba de aceleración en línea recta que exige la organización de la competencia, donde el objetivo es lograr el menor tiempo posible en una recta de 100m y frenar al final de esta, por esta razón es solamente indispensable el cambio de marchas ascendente y en altas revoluciones. Para comprender el funcionamiento de este modo dirjase a la Figura 9: Algoritmo de funcionamiento del modo automático

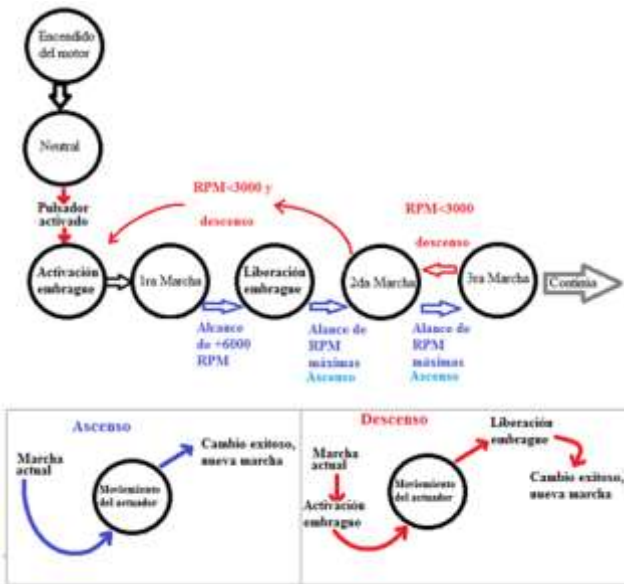


Figura 9: Algoritmo de funcionamiento del modo automático  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

### 3.3 MODO SEMIAUTOMÁTICO

En este modo de funcionamiento, el embrague, el corte de ignición, el ascenso y descenso de las marchas son operados por el sistema, y el usuario, teniendo control sobre el ascenso y descenso de las marchas.

Este modo de funcionamiento, puede ser controlado por el usuario de forma manual (accionando los botones), o de forma automática (dejando que el sistema dé las órdenes)

Este método tiene como objetivo facilitar el manejo de auto, especialmente en sectores trabados o con demasiadas curvas, este previene el cambio al que se debe encontrar el vehículo y lo confirma con órdenes del usuario. Para un mejor entendimiento de este modo de funcionamiento observe la Figura 10: Algoritmo de funcionamiento del modo semi – automático

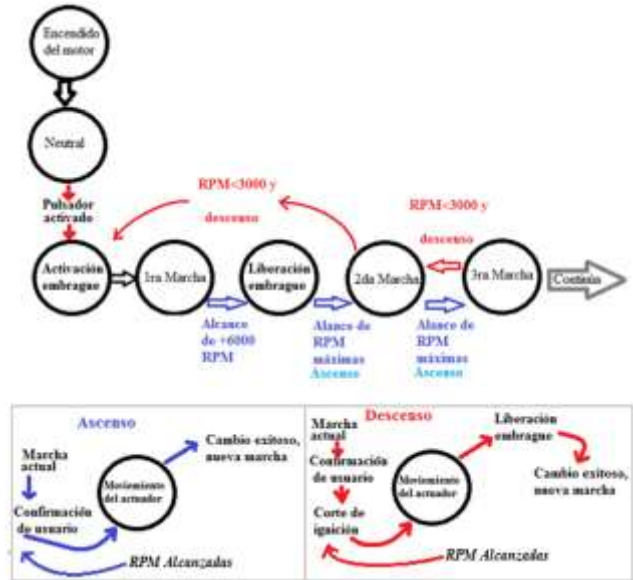


Figura 10: Algoritmo de funcionamiento del modo semi – automático

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tiempo que demora el sistema desde que se requiere el cambio de marcha hasta que se cumplió con la orden, puede ser solamente analizado para el modo de uso manual y semiautomático, dirjase a la Tabla 8: Análisis de los tiempos de accionamiento

Tabla 8: Análisis de los tiempos de accionamiento

PARÁMETRO	TIEMPO ESTÁNDAR	TIEMPO DEL SISTEMA
Tiempo de movimiento de la palanca de cambios	0,6 seg (aprox)	0,3 seg (aprox) (sin movimiento predictivo)
Tiempo de procesamiento de orden	Nul	0,1 seg (aprox)
Tiempo muerto de movimiento humano (tiempo que toma al usuario accionar el elemento)	0,3 seg (aprox)	0,1 seg (aprox)
Total tiempo	0,9 seg (aprox)	0,5 seg (Aprox)
Porcentaje de mejora	0%	44%

Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

Para analizar la aceleración del vehículo se considera los tiempos muertos generados por el sistema cambiador de marchas inteligente y por el sistema estándar, los cuales se compararán con una aceleración ideal sin pérdidas. Observe la Figura 11: Análisis de aceleración del vehículo.

- La línea azul simula una aceleración ideal sin pérdidas por cambios de velocidad, llegando a una velocidad final de 30,4m/s en 100m.
- La línea roja es la aceleración que muestra el sistema propuesto, con sus pérdidas al momento del cambio de marcha, llegando a una velocidad final de 27,5m/s en 100m.
- La línea gris representa a la aceleración que muestra el sistema estándar, tomando en cuenta los tiempos muertos al cambio de marcha llegando a una velocidad final de 25,3m/s en 100m.



Figura 11: Análisis de aceleración del vehículo  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

Se puede concluir este análisis recalando que la velocidad final alcanzada por el sistema automatizado es superior a la velocidad final alcanzada por un sistema estándar manual.

## 5 CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2014, el cual funciona de manera adecuada, cumple parámetros de diseño y está diseñado para un vehículo de competición.

El diseño de un mecanismo de selección de marchas construido para el volante es ergonómico para el piloto, pues este logra ser activado sin que el piloto tenga que perder contacto con el volante, siendo esta una de las normativas existentes en la teoría de la ergonomía.

Se construyó el sistema electromecánico de cambio de marchas y se lo unió a la caja de cambios del motor, por medio de un mecanismo de acoplamiento entre los actuadores del sistema con materiales comúnmente

encontrados en Ecuador, del menor costo posible y que requieren de pocos procesos de mecanizado.

La adquisición de los datos del motor por medio del sensor de velocidad y el de RPM o CMP del motor no requirieron de circuitos de acoplamiento de señales, puesto que la tarjeta SbRio Single Board 9636 posee una muy alta resolución y evita la necesidad de amplificación de señales

Para controlar el sistema se realizó una programación separada en varios segmentos, en el FPGA se da lectura a todas las variables y pasan por una primera etapa de acondicionamiento, posteriormente se dividió en 3 modos de funcionamiento al sistema; el modo automático, semi-automático y manual, aprovechando las características de la tarjeta SbRio single Board 9636 para realizar la mayor cantidad de procesos en prácticamente al mismo tiempo.

Se comprobó el funcionamiento de los elementos mecánicos, electrónicos y de control del sistema, en el aeropuerto de la ciudad de Ambato, siendo probado en su mayoría en línea recta, variando la aceleración y dejando que varios usuarios lo utilicen, de esta forma el sistema fue probado y calibrado con satisfacción

## 6 REFERENCIAS

- [1] FSG, «Formula Student Germany,» 30 septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.formulastudent.de/fsg/about/concept/>. [Último acceso: 23 01 2015].
- [2] SAE.org, «SAE INTERNATIONAL,» 9 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://students.sae.org/cds/formulaseries/about.htm>.
- [3] Sae International, 2014 Formula Sae Rules, 2013, pp. 110-163.
- [4] V. Sánchez, Cajas Automáticas, Quito, Pichincha: Ediciones américa, 2004.
- [5] W. H. Crouse, Transmisión y Caja de Cambios del Automóvil, 4 ed., México DF: Marcombo, S.A., 1984, p. 443.
- [6] HONDA MOTORS, Maintance HONDA CBR F4i Manual, Tokio, 2003.
- [7] Sae International, 2014 Formula Sae Rules, 2013, p. 54 T6.5 Steering.
- [8] J. M. Cortés Díaz, Seguridad e Higiene del Trabajo, Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales, 10 ed., Madrid : Editorial Tébar, S.L., 2012, p. 798.
- [9] Pololu, «pololu robotics & electronics,» 23 enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.pololu.com/product/2302>.
- [10] National Industries, «National Instruments,» 22 Enero 2014. [En línea]. Available:

<http://www.ni.com/fpga/esa/>.

- [11] National Instruments, NI LabVIEW for CompactRIO Developer's Guide, Austin , Texas: Measurement Studio, 2013.



Xavier Gordillo. Nació el 22 de Junio de 1990 en Quito provincia de Pichincha, Ecuador.

Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2015.

Áreas de Interés: Automatización y control de procesos, Redes industriales, Visión Artificial, Diseño Mecánico y Área Automotriz.

email: edoxavi@hotmail.com,  
xaviergor@gmail.com



Luis Lara. Nació el 07 de Mayo de 1991 en Salcedo provincia de Cotopaxi, Ecuador.

Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2015.

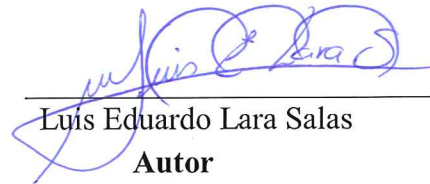
Áreas de Interés: Automatización y control de procesos, Redes industriales, Visión Artificial, Diseño Mecánico y Área Automotriz.

email: luis-7591@hotmail.com,

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**

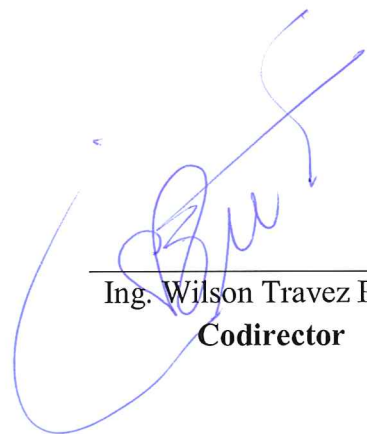
**Elaborado por:**

  
\_\_\_\_\_  
Edison Xavier Gordillo Bravo  
**Autor**

  
\_\_\_\_\_  
Luis Eduardo Lara Salas  
**Autor**

**Revisado por:**

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Euro Mena  
**Director**

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Wilson Travez P.  
**Codirector**

**Aprobado por:**

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Vicente Hallo  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**Certificado por:**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Freddy Jaramillo  
**SECRETARIO ACADÉMICO**