

# “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

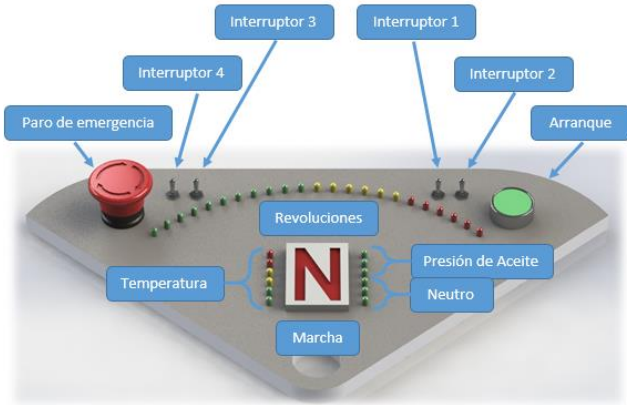


Figura 1: Panel de instrumentos  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

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.

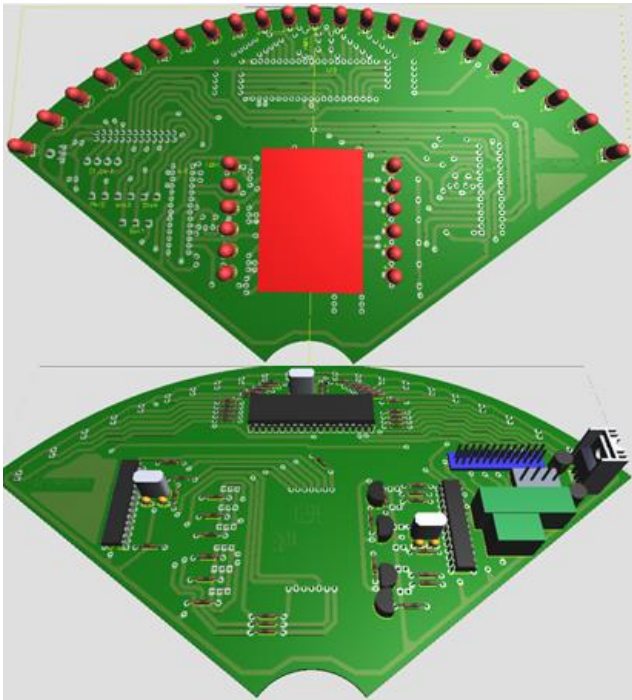


Figura 2: Diseño del PCB a dos capas para el panel de instrumentos  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

### 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</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

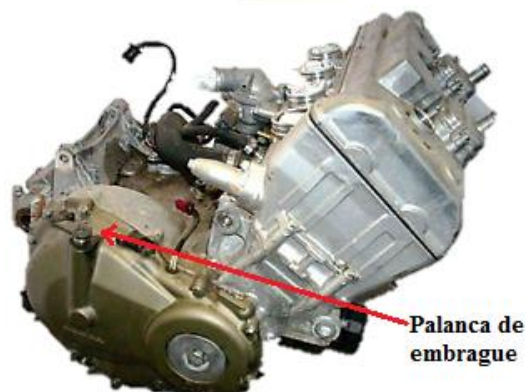
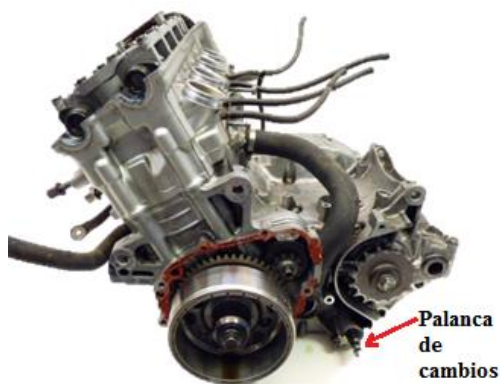


Figura 4: Posición de la palanca de cambios y de embrague  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

## 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.

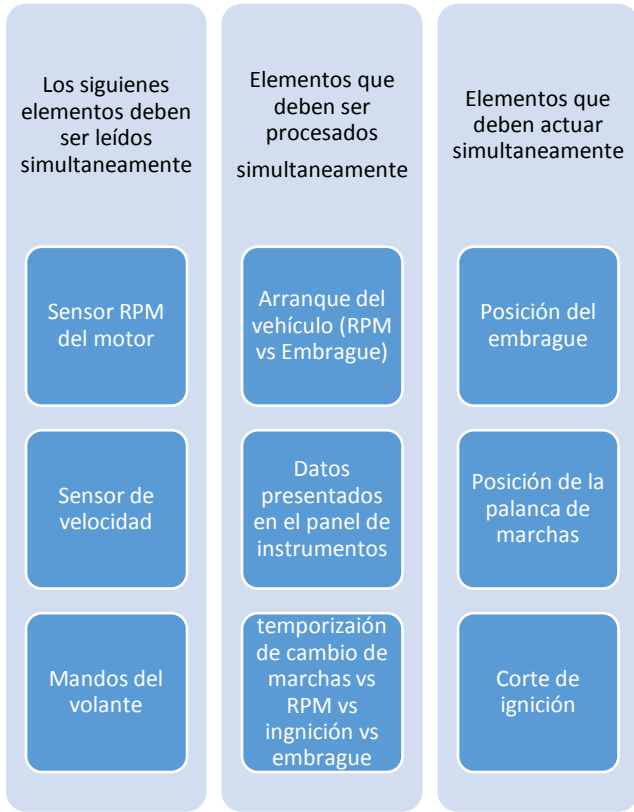


Figura 6: Requerimientos de funcionamiento del sistema  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

**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

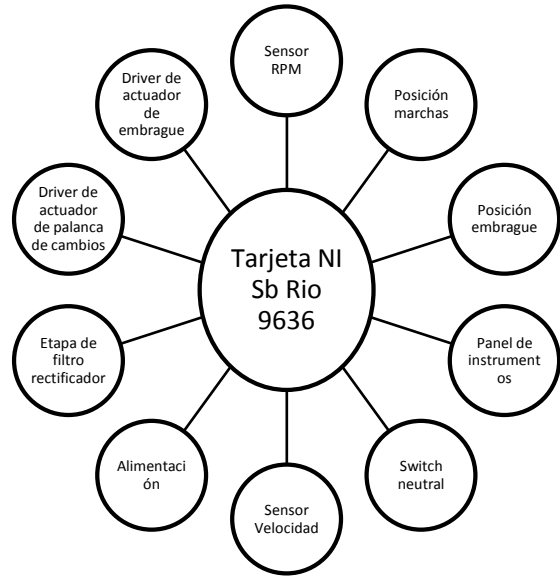


Figura 7: Arquitectura del sistema  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

**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

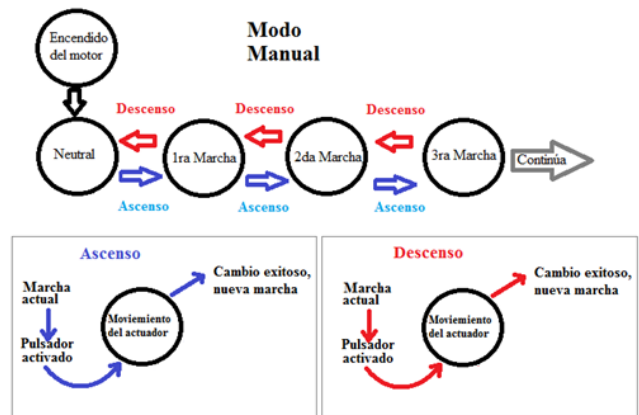


Figura 8: Algoritmo de funcionamiento del modo manual  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

### 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 diríjase a la Figura 9: Algoritmo de funcionamiento del modo automático

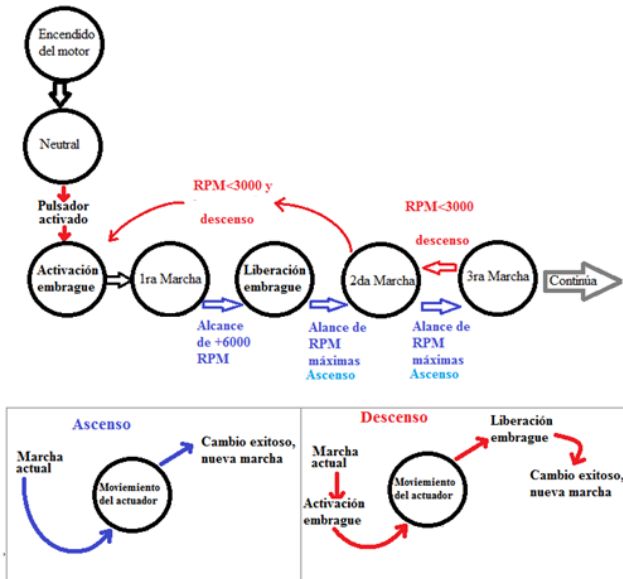


Figura 9: Algoritmo de funcionamiento del modo automático  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

### 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

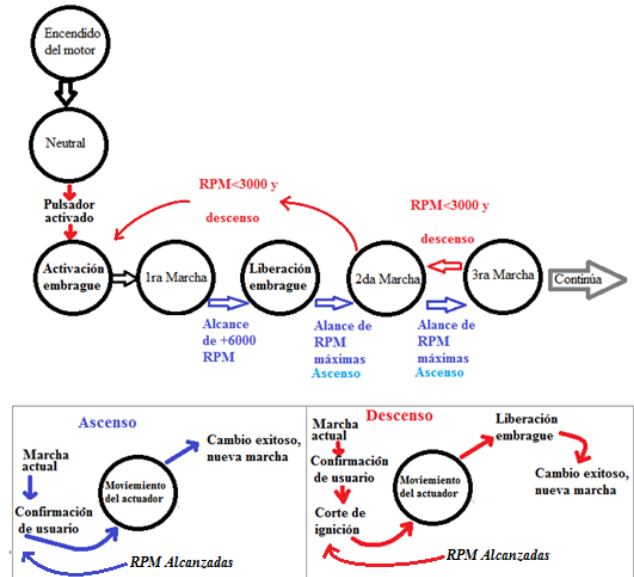


Figura 10: Algoritmo de funcionamiento del modo semi – automático

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, diríjase 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.

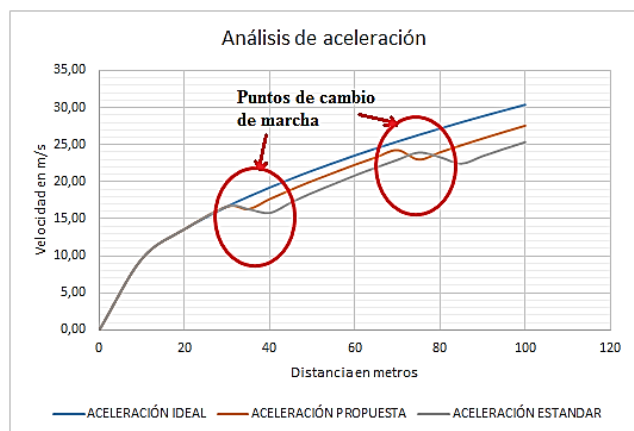


Figura 11: Análisis de aceleración del vehículo  
Realizado por, X. Gordillo y L. Lara

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,