



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

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

**AUTORES:**

**GORDILLO BRAVO, EDISON XAVIER  
LARA SALAS, LUIS EDUARDO**

**DIRECTOR: ING. MENA, EURO  
CODIRECTOR: ING. TRAVEZ, WILSON**

# Objetivo general

- ▶ Diseñar e implementar un cambiador de marchas inteligente utilizando FPGA para el prototipo FESPE 2013

## Objetivos específicos

- ▶ Desarrollar el estado del arte.
- ▶ Diseñar y construir un mecanismo de selección de marchas para el volante, ergonómico para el piloto
- ▶ Establecer parámetros de diseño para el sistema mecánico de cambio de marchas adaptado a la caja de cambios del motor.
- ▶ Construir el sistema electromecánico de cambio de marchas que se unirá a la caja de cambios del motor.
- ▶ Acondicionar los sensores de velocidad, RPM del motor y variables de entrada al sistema FPGA.
- ▶ Diseñar el sistema de control en el módulo FPGA.
- ▶ Realizar pruebas del sistema mecánico, electrónico, y de control

# Contenido

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II: DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN

CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

- ▶ FÓRMULA STUDENT Y FÓRMULA SAE
- ▶ EQUIPO FESPE
- ▶ SISTEMA DE TRANSMISIÓN
- ▶ SISTEMAS REAL TIME Y FPGA
- ▶ DATOS TÉCNICOS DE LA NI SINGLE BOARD RIO
- ▶ ERGONOMÍA

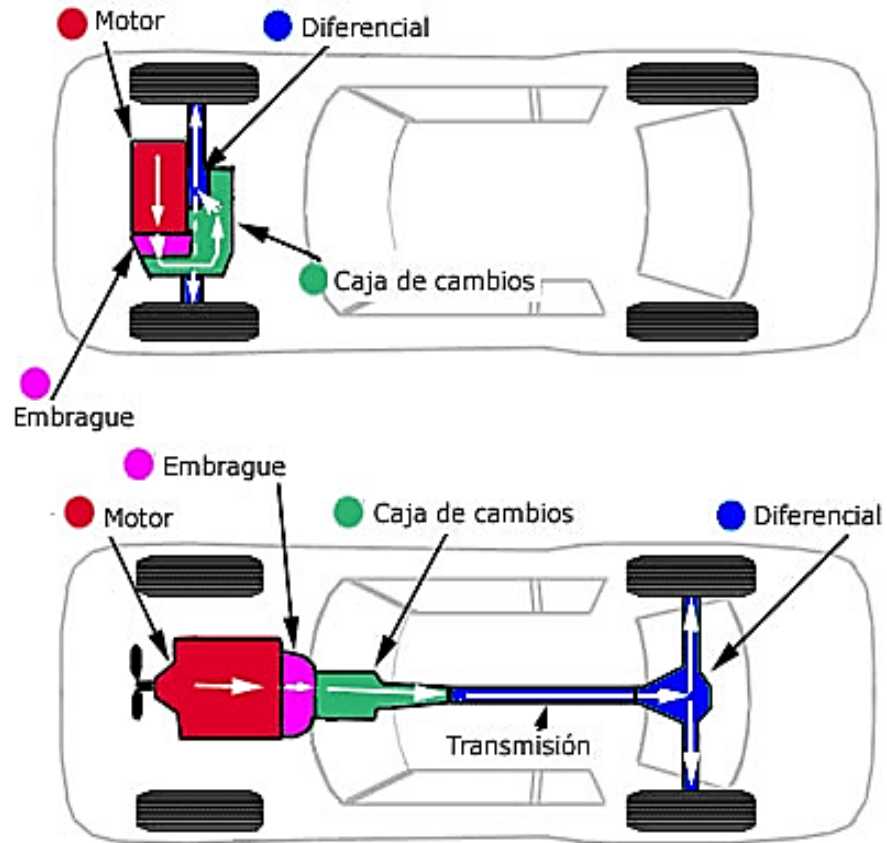
# FÓRMULA STUDENT Y FÓRMULA SAE

- ▶ 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.

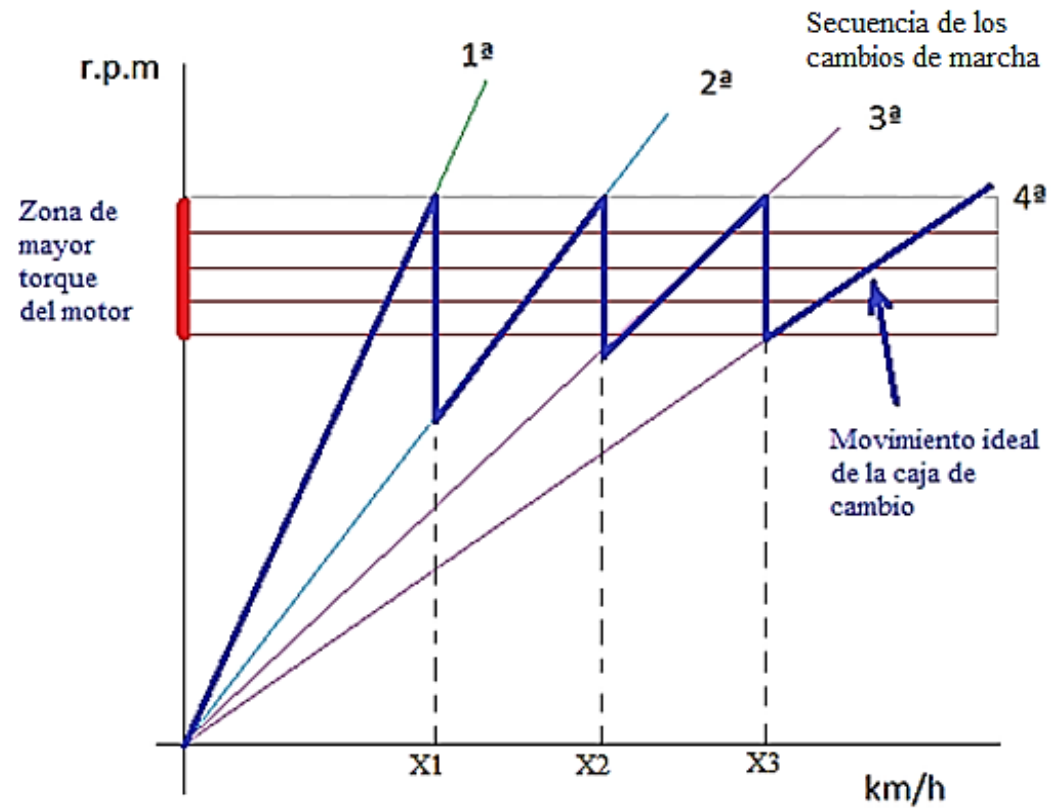
# EQUIPO FESPE



# SISTEMA DE TRANSMISIÓN

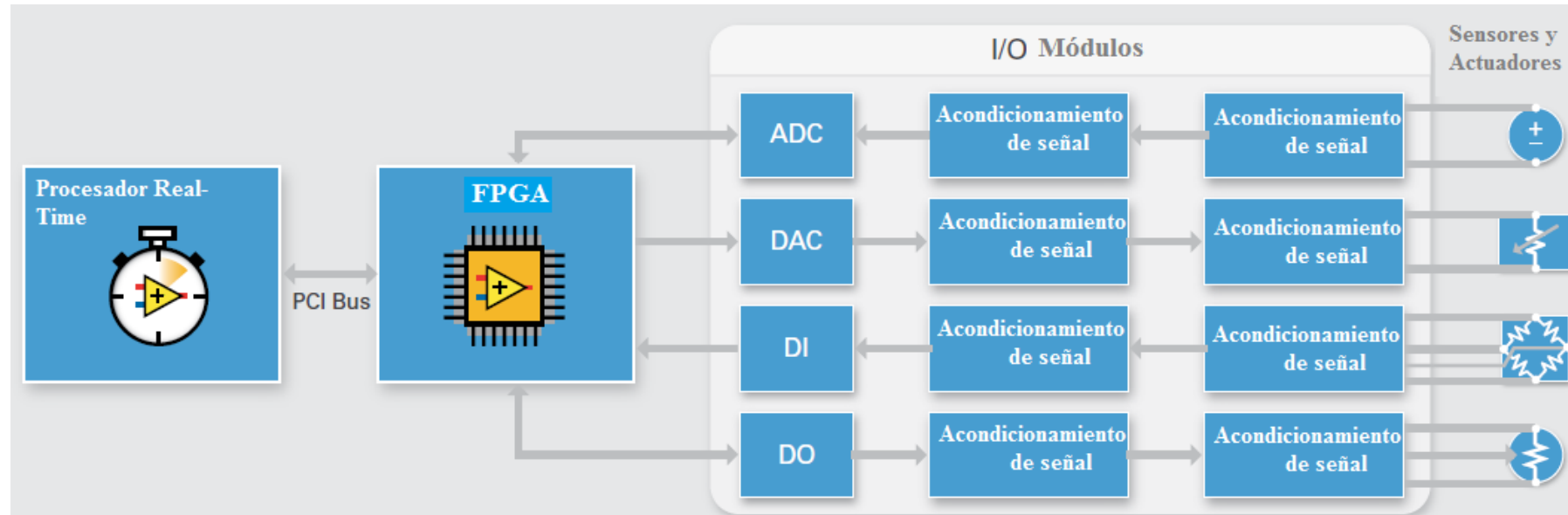


# MOVIMIENTO IDEAL DE LA CAJA DE CAMBIOS



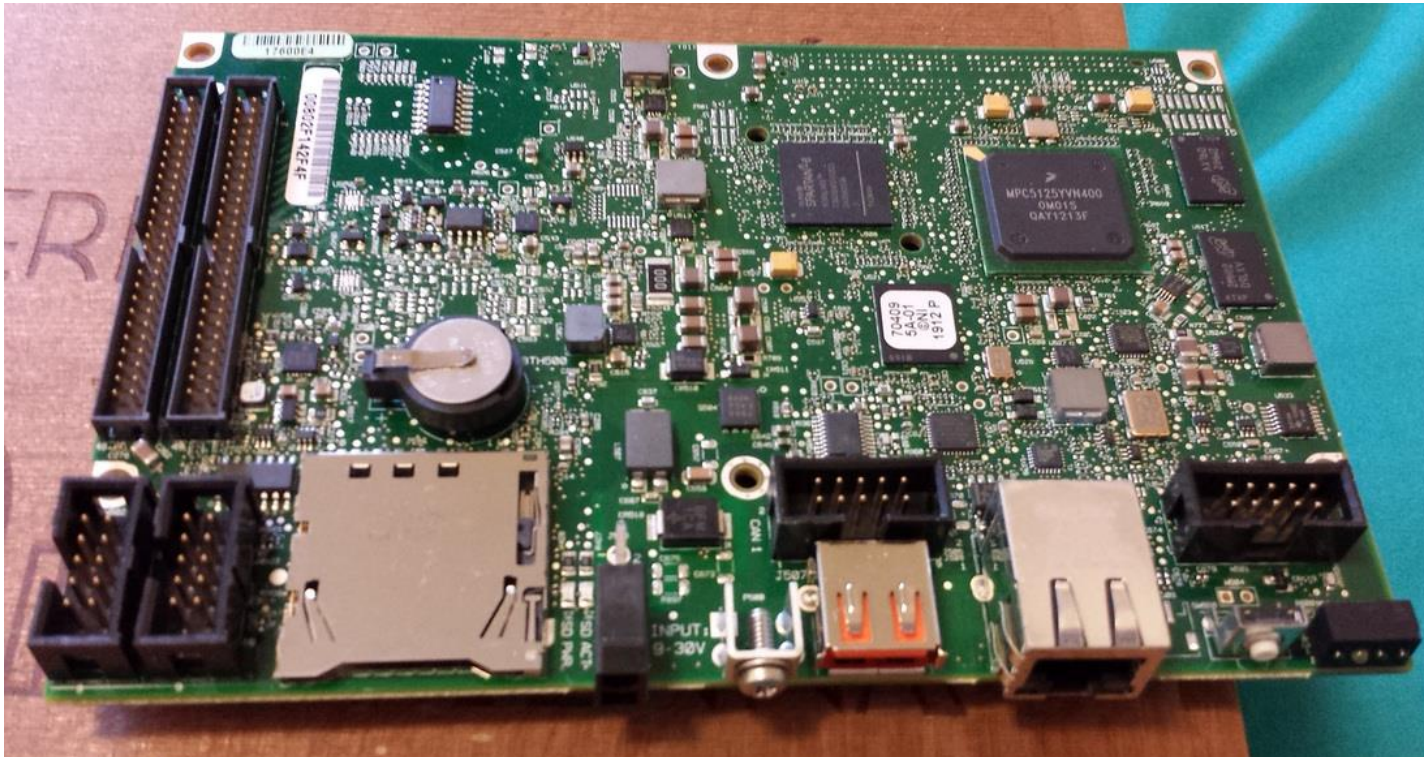


# SISTEMAS REAL TIME Y FPGA

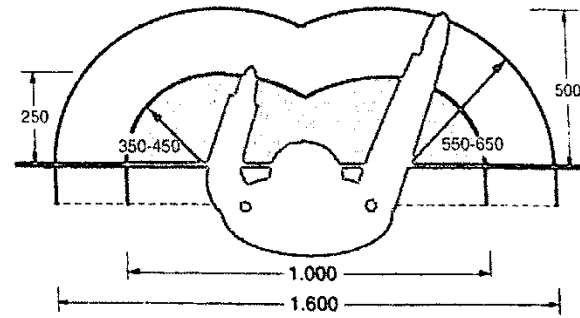
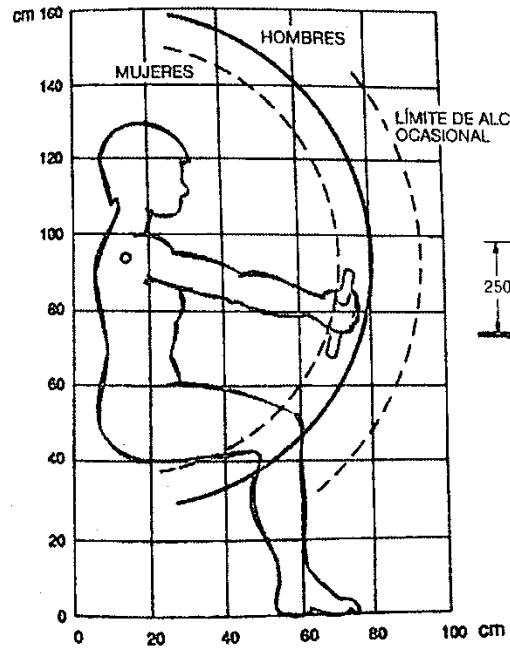
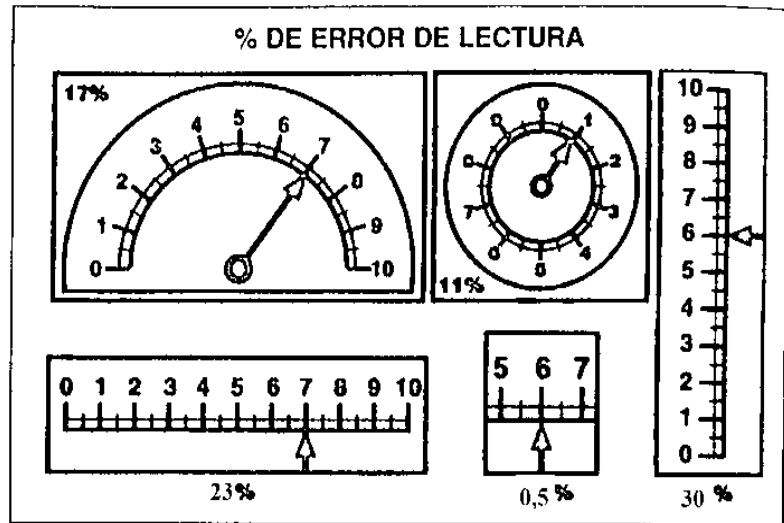


# DATOS TÉCNICOS DE LA NI SINGLE BOARD RIO

SbRIO 9636



# ERGONOMÍA



ARCO HORIZONTAL DE ALCANCE DEL BRAZO Y ÁREA DE TRABAJO SOBRE UNA MESA

# CAPÍTULO II

## DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN

- ▶ CRITERIOS TÉCNICOS
- ▶ PARÁMETROS DE DISEÑO
- ▶ CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MOTOR EN DONDE SE IMPLEMENTARÁ EL SISTEMA
- ▶ SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA
- ▶ PANEL DE INSTRUMENTOS E INDICADORES
- ▶ DISEÑO DEL VOLANTE CON MANDOS DE CONTROL
- ▶ DISEÑO DEL SISTEMA ACTUADOR PARA LA CAJA DE CAMBIOS Y EMBRAGUE
- ▶ DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO
- ▶ ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL CONTROLADOR
- ▶ ARQUITECTURA Y CONEXIÓN DEL SISTEMA

# CRITERIOS TÉCNICOS

- ▶ 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.

# PARÁMETROS DE DISEÑO

- ▶ 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.

# CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MOTOR DONDE SE IMPLEMENTÓ EL SISTEMA

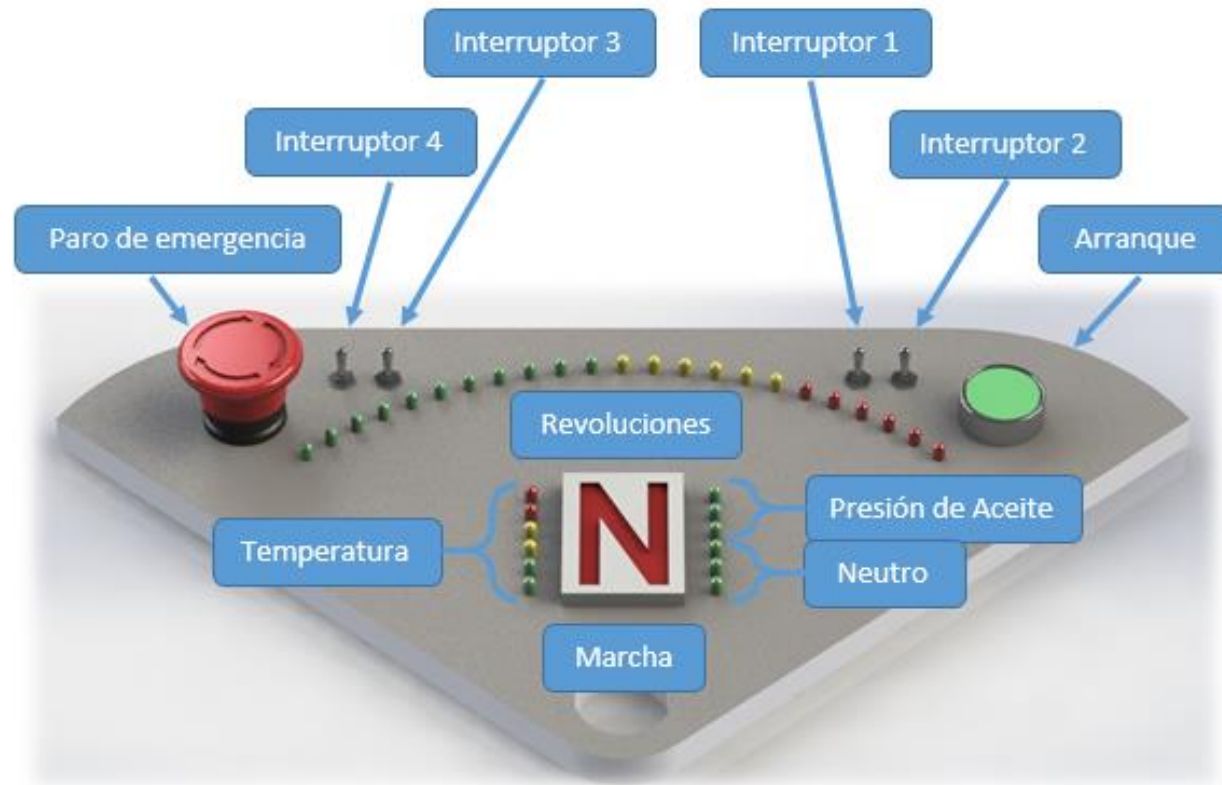
<b>NOMBRE DEL MOTOR</b>	<b>HONDA CBR 600 F4i</b>
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Motor de 4 tiempos</li><li>• 599 cc configuración DOHC</li><li>• 109 HP configuración de fábrica</li><li>• 60 HP aproximados (restringido por reglamento)</li><li>• 170 Kg de peso</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)

# SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA

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>



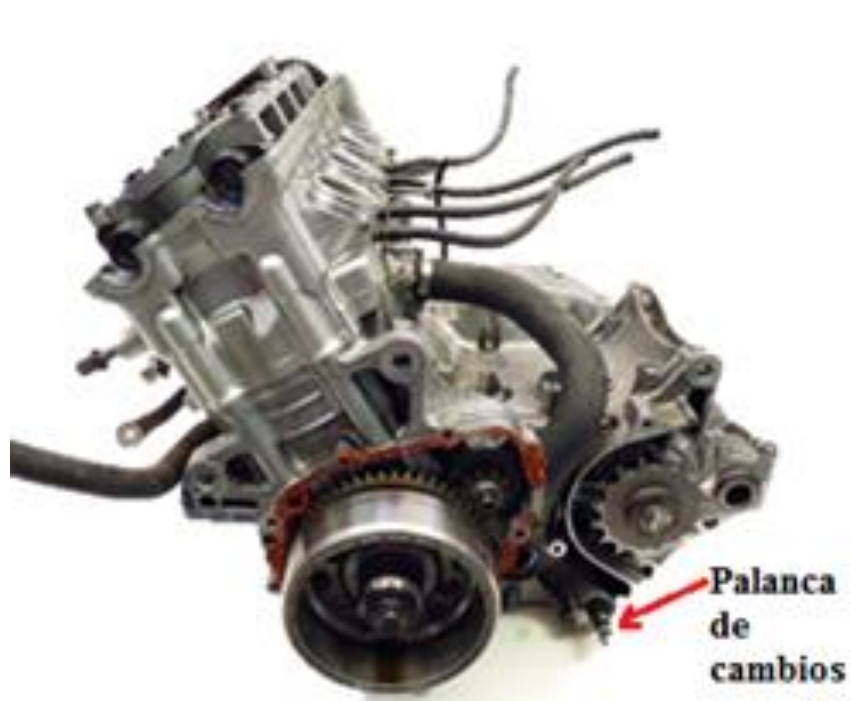
# PANEL DE INSTRUMENTOS E INDICADORES



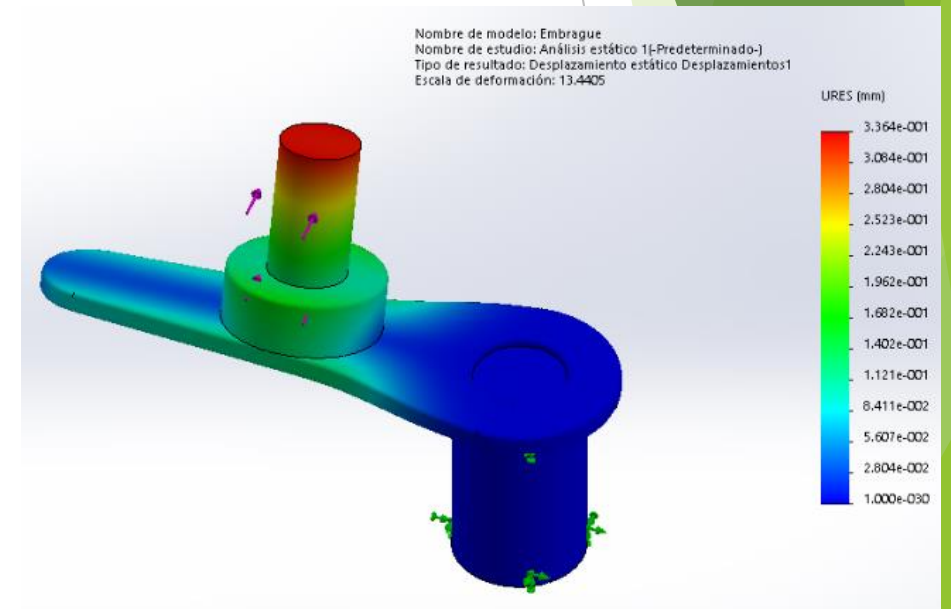
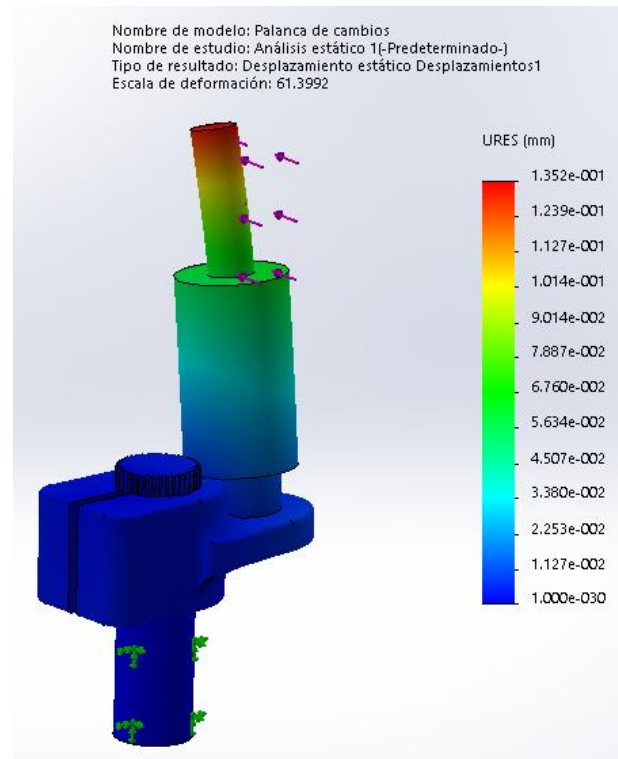
# DISEÑO DEL VOLANTE CON MANDOS DE CONTROL



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



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



# DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

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

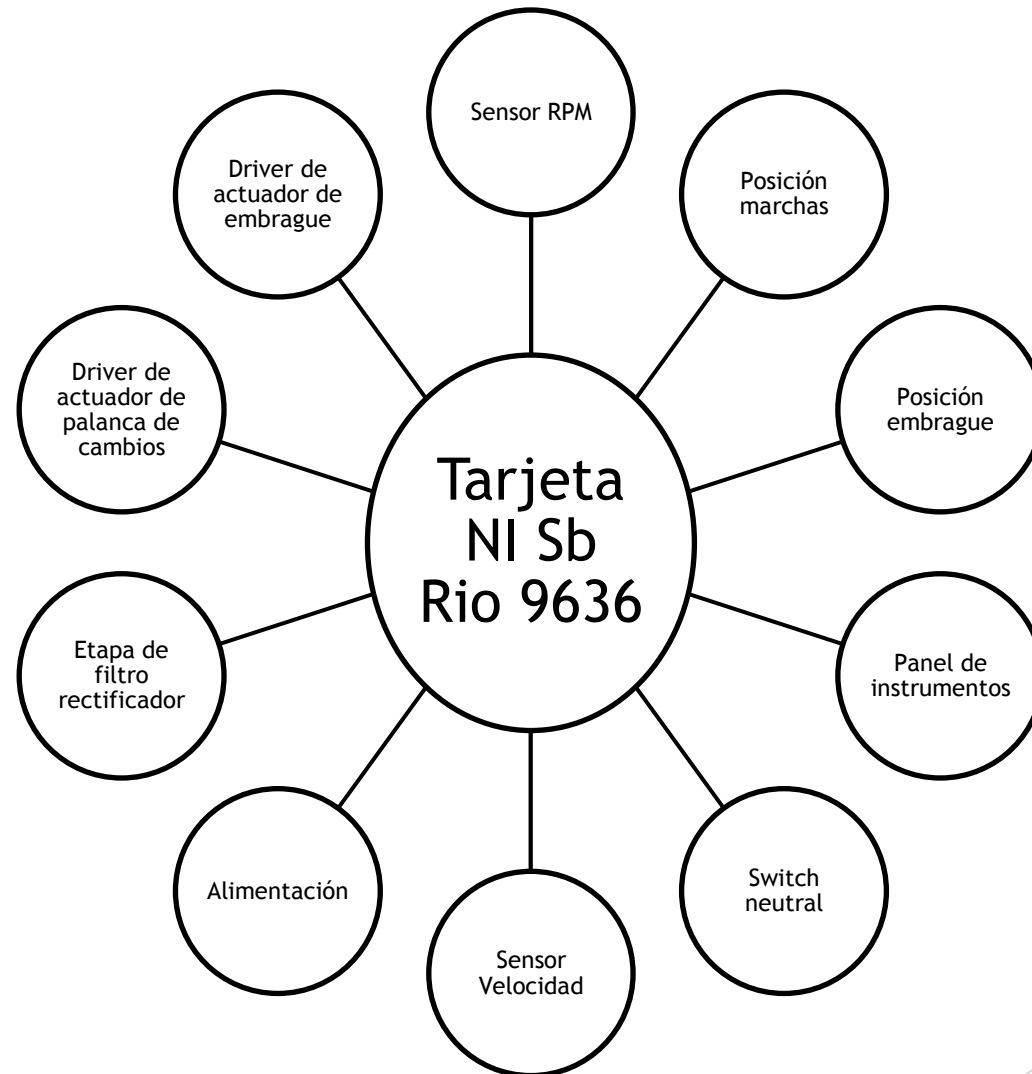
Los sensores complementarios para el panel de instrumentos son

- ▶ Temperatura del refrigerante
- ▶ Presión de aceite

# ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL CONTROLADOR

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

# ARQUITECTURA Y CONEXIÓN DEL SISTEMA





# CAPÍTULO III

## IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

- ▶ **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO**
- ▶ **ELEMENTOS DE ENTRADA**
- ▶ **MODOS DE FUNCIONAMIENTO**
- ▶ **PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y CALIBRACIÓN**
- ▶ **VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS**
- ▶ **ANÁLISIS ECONÓMICO**



# 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.

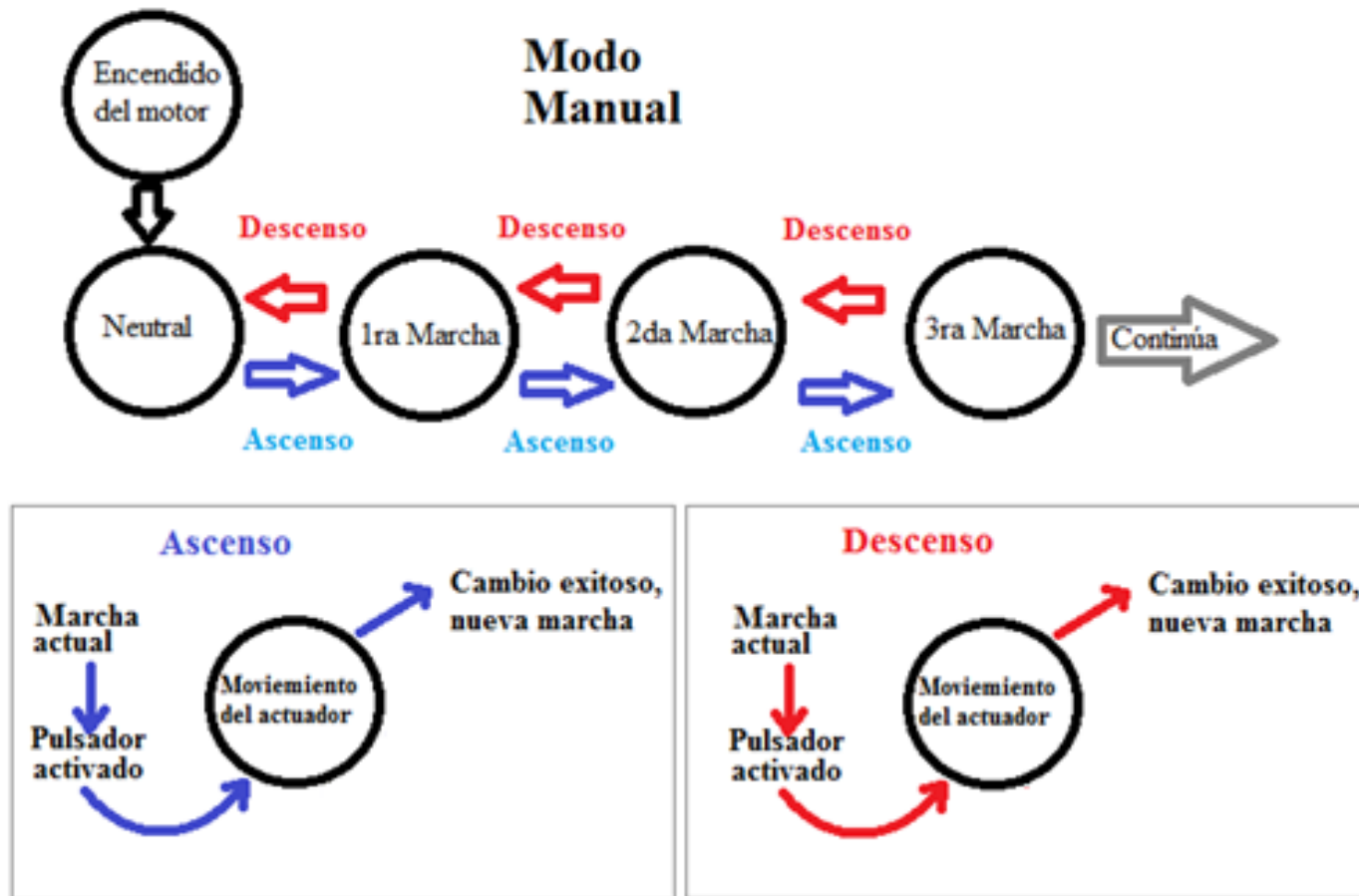
# ELEMENTOS DE ENTRADA

- ▶ **PULSADORES DEL VOLANTE**
- ▶ **SENSOR DE RPM**
- ▶ **SENSOR DE VELOCIDAD**
- ▶ **SENSORES DE POSICIÓN PARA LOS MOTORES DC LINEALES**

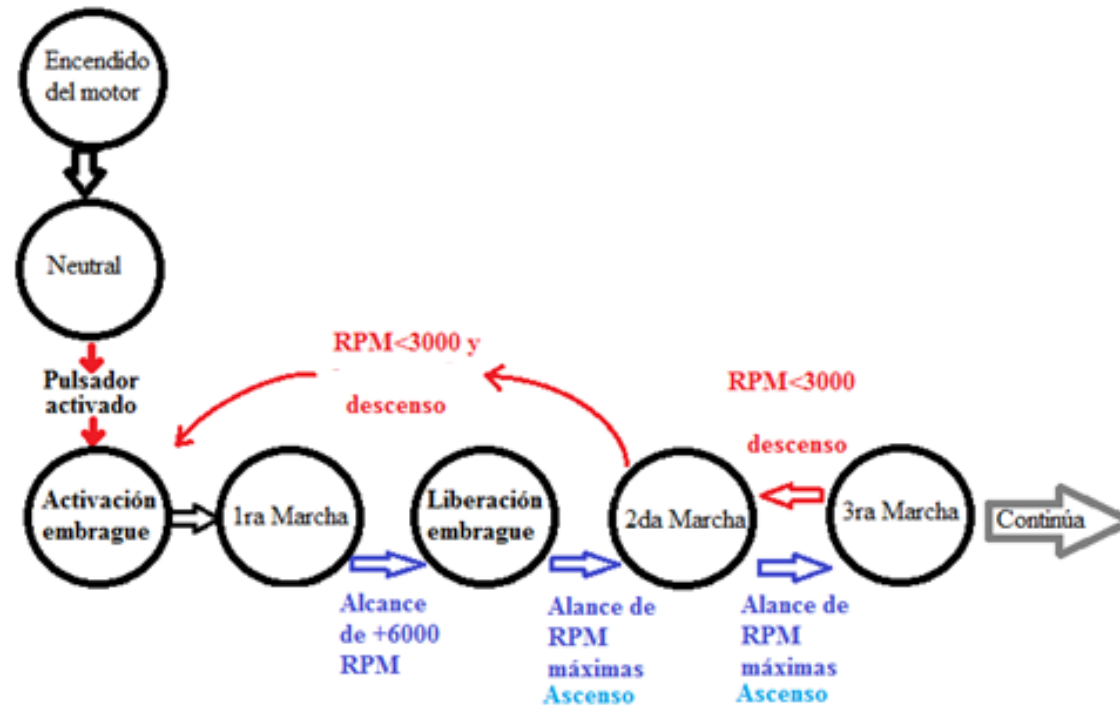
# MODOS DE FUNCIONAMIENTO

- ▶ Modo manual
- ▶ Modo automático
- ▶ Modo semiautomático

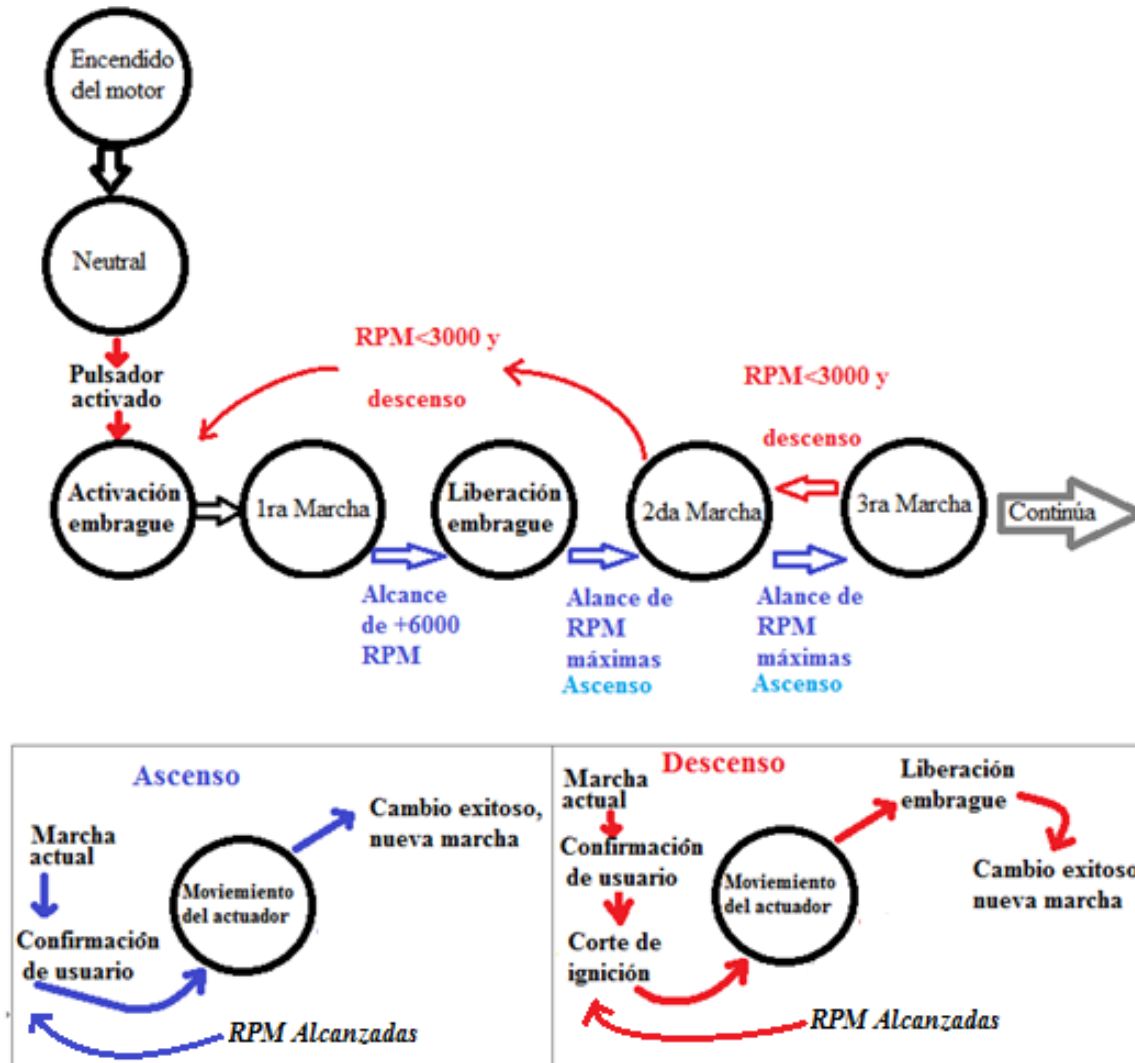
# MODO MANUAL



# MODO AUTOMÁTICO



# MODO SEMI-AUTOMÁTICO



# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y CALIBRACIÓN

## Accionamiento de embrague

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

## Accionamiento de la caja de cambios

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

# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La implementación del sistema inteligente cambiador de marchas mejora la aceleración y otorga un mejor desempeño del vehículo.

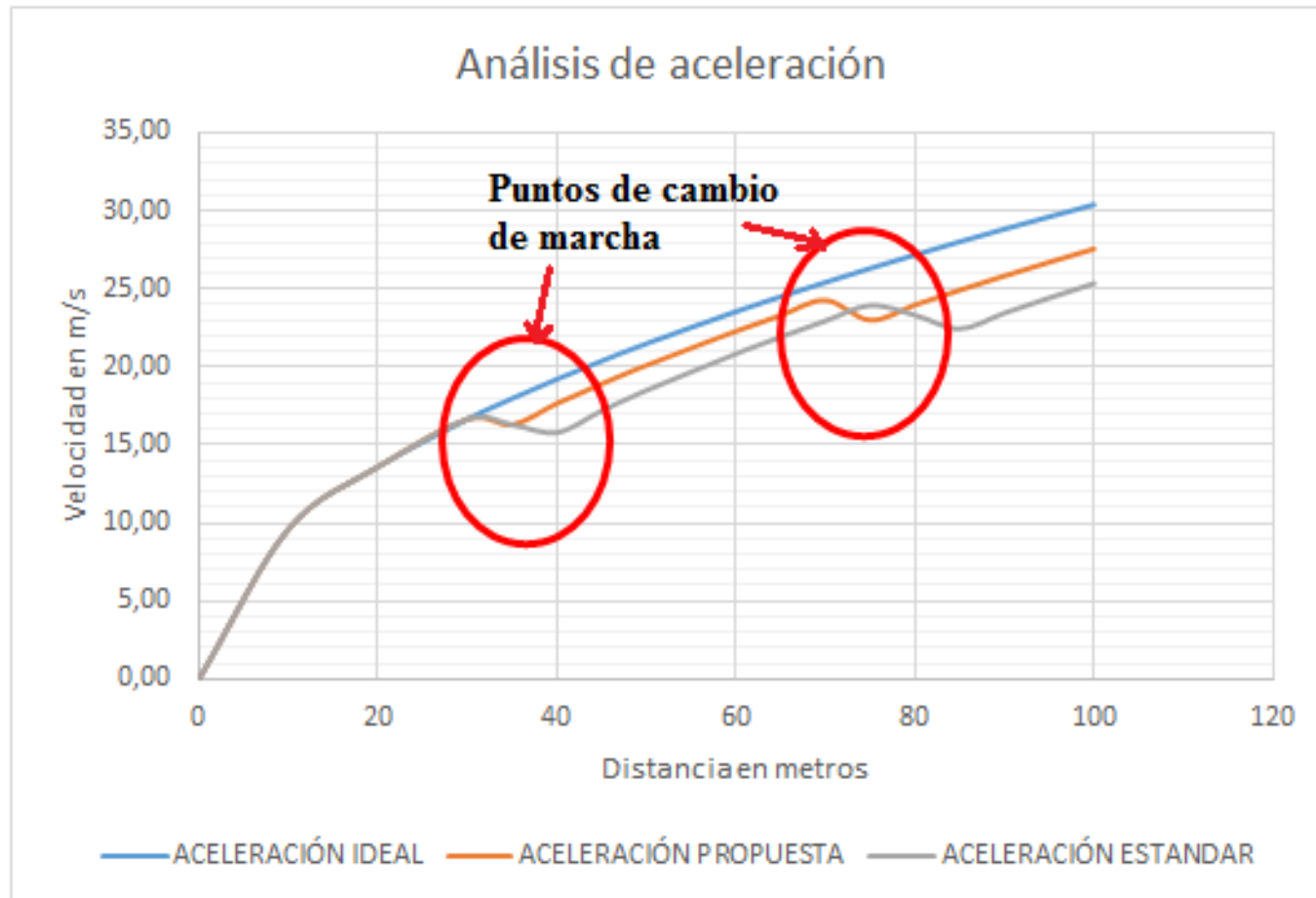




# Resultados obtenidos del sistema

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%

# Resultados obtenidos del sistema



# ANÁLISIS ECONÓMICO

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 SbRlo 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

# CAPÍTULO IV

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ▶ CONCLUSIONES
- ▶ RECOMENDACIONES

# 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.

# CONCLUSIONES

- ▶ 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.

# RECOMENDACIONES

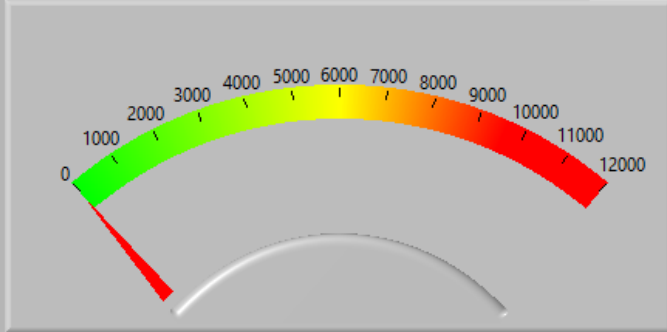
- ▶ Utilizar materiales fácilmente mecanizables, para minorar el tiempo y costo de fabricación, tomando en cuenta que este es el objetivo de la competencia Formula Student
- ▶ Optimizar de la mejor manera la programación y los flujos de información, para evitar la saturación de los procesadores de la tarjeta SbRio y para lograr una mayor rapidez de funcionamiento.
- ▶ 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.
- ▶ 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.

ANEXOS



CALIBRACION ADQUISICION DE DATOS

RPM



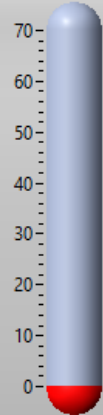
MARCHA



COMUNICACION



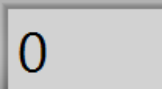
TEMPERATURA RIO



PRESION DE ACEITE

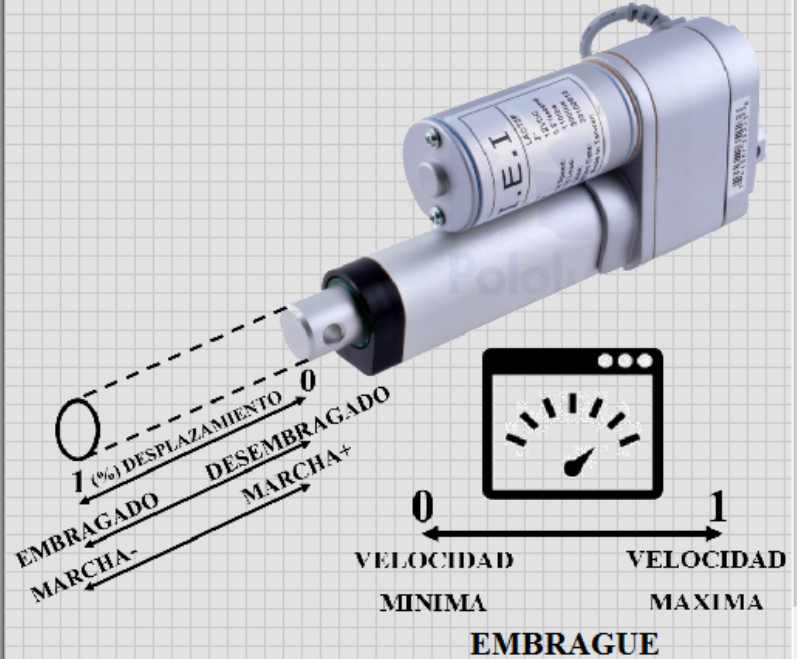


BATERIA (V)



**ESPE**

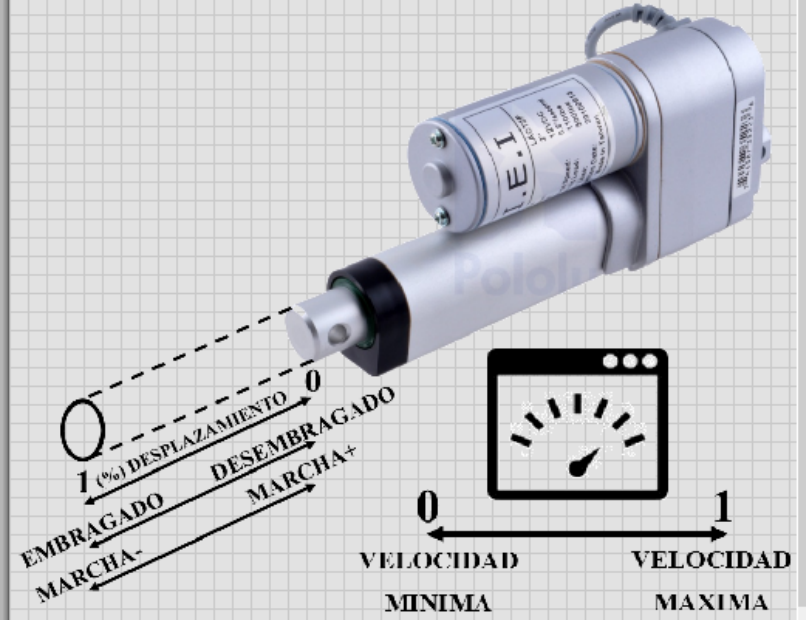
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



LOS PORCENTAJES DE DEZPLAZAMIENTO DEBEN SER CALIBRADOS CON MUCHO DETALLE SE RECOMIENDA CAMBIOS LEVES DE 0,005 EN EL SENTIDO QUE SE DESEE CORREGUIR

CALIBRACION    ADQUISICION DE DATOS

RPM CAMBIO- 6000	L1 CAMBIO- 0,48 (%)	L2 CAMBIO- 0,48 (%)	RPM PARO 3000	CLUTCH 0,8 (%)
RPM UP2 6250	L1 EMBRAGUE 0,41 (%)	L2 EMBRAGUE 0,41 (%)	CLUTCH 1 0,7 (%)	DECLUTCH 1 0,7 (%)
RPM UP1 6500	L1 UP2 0,39 (%)	L2 UP2 0,39 (%)	DECLUTCH 2 0,68 (%)	% SPEED 1 1 (%)
RPM DOWN1 8250	L1 UP1 0,38 (%)	L2 UP1 0,38 (%)	DECLUTCH 3 0,65 (%)	% SPEED 2 0,4 (%)
RPM DOWN2 8500	L1 CENTER 0,37 (%)	L2 CENTER 0,37 (%)	RPM ARRANQUE 8000	% SPEED 3 0,2 (%)
RPM CAMBIO+ 8750	L1 DOWN1 0,36 (%)	L2 DOWN1 0,36 (%)	TIEMPO NEXT GEAR 1000 (ms)	TIEMPO DE ESPERA DESEMBRAGADO 2000 (ms)
	L1 DOWN2 0,35 (%)	L2 DOWN2 0,35 (%)		TIEMPO DE ESPERA EMBRAGUE 0 (ms)
	L1 CORTE 0,33 (%)	L2 CORTE 0,33 (%)	1-NEUTRO 0,31 (%)	CARGAR
	L1 CAMBIO+ 0,265 (%)	L2 CAMBIO+ 0,27 (%)	NEUTRO-1 0,48 (%)	LEER

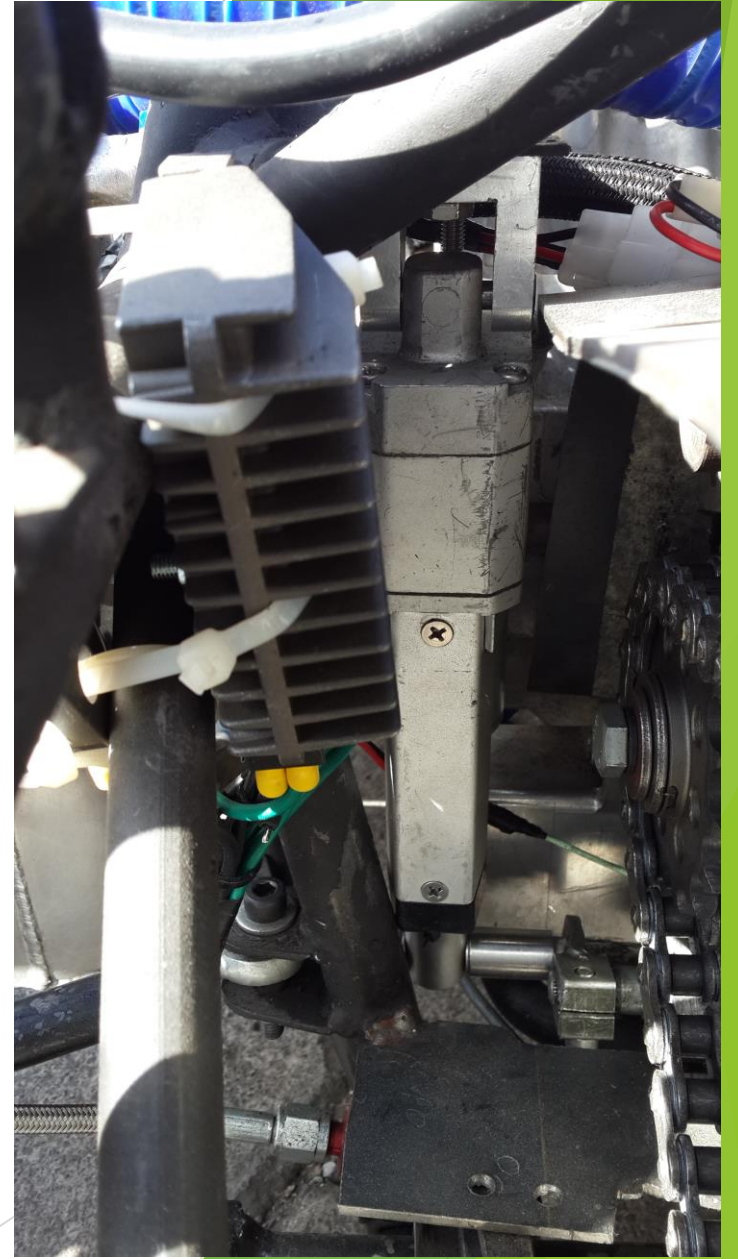
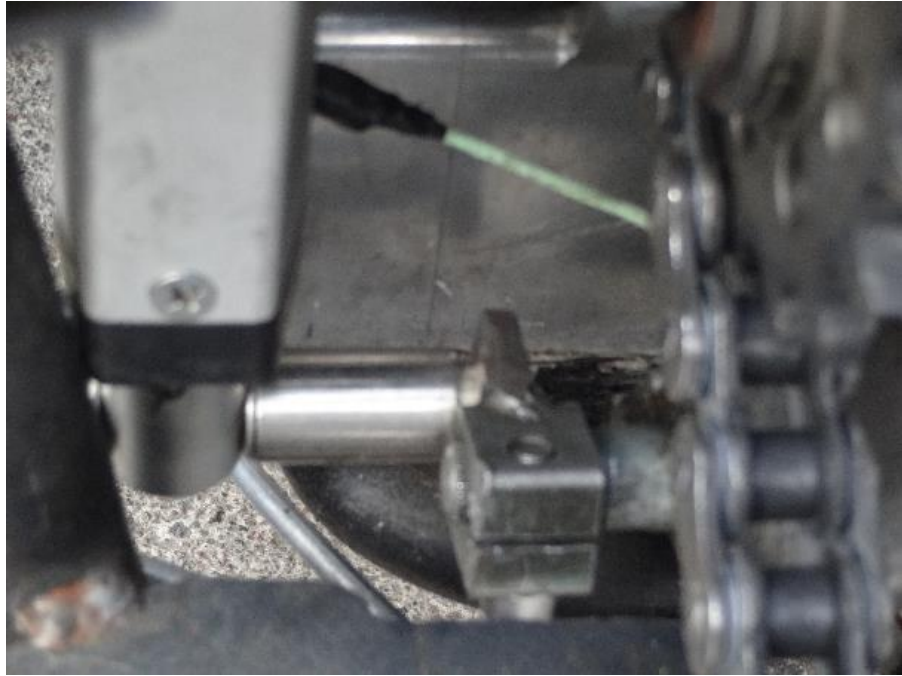


**EMBRAGUE**

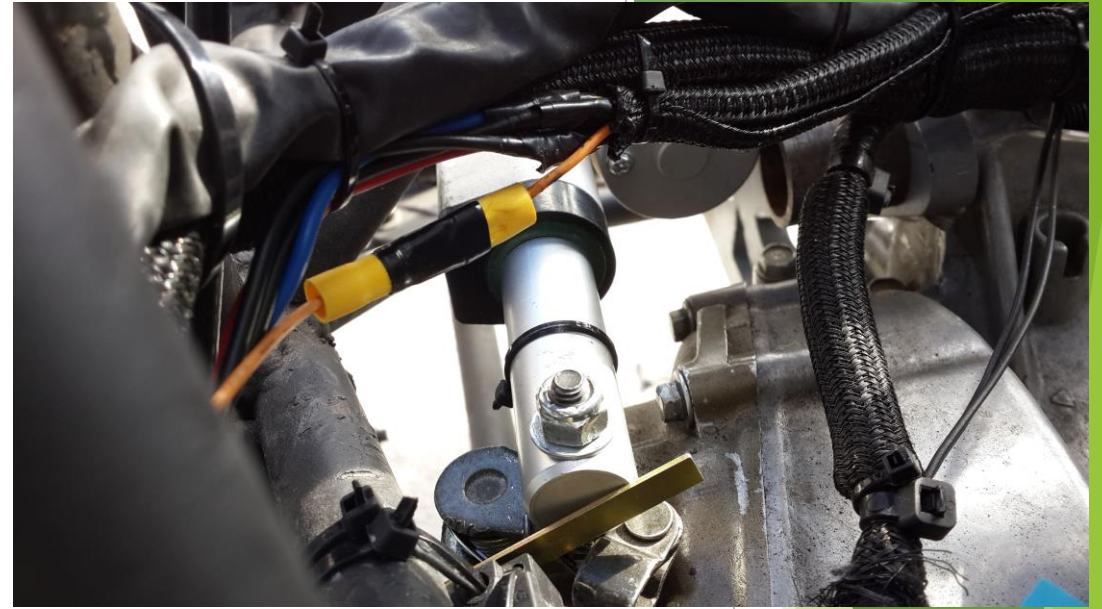
LOS PORCENTAJES DE DEZPLAZAMIENTO DEBEN SER CALIBRADOS CON MUCHO DETALLE SE RECOMIENDA CAMBIOS LEVES DE 0,005 EN EL SENTIDO QUE SE DESEE CORREGUIR



















# VIDEO DE FUNCIONAMIENTO





# 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 Trávez.*
- ▶ *A nuestros amigos y compañeros*
- ▶ *A Zeev Mantilla*
- ▶ *A la Fuerza Aérea Ecuatoriana por facilitarnos la pista aérea de Ambato*

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

*Muchas Gracias*

# 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*

GRACIAS POR SU ATENCIÓN