



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
ELECTRO-MECÁNICO DE SELECCIÓN DE CAMBIOS
DE MARCHA PARA CONTRIBUIR CON LA
CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA
PARA LA ESPOCH”**

**PIZARRO TORRES, ÁNGEL FERNANDO
ZARUMA CHIMBAY, EDISON OSWALDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**Riobamba–Ecuador
2017**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2016-05-05

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

PIZARRO TORRES ÁNGEL FERNANDO

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO
DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA PARA CONTRIBUIR CON LA
CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA PARA LA
ESPOCH”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
DIRECTOR

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2016-05-05

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

ZARUMA CHIMBAY EDISON OSWALDO

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO
DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA PARA CONTRIBUIR CON LA
CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA PARA LA
ESPOCH”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
DIRECTOR

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PIZARRO TORRES ÁNGEL FERNANDO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA PARA CONTRIBUIR CON LA CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA PARA LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2017-07-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Perez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano DIRECTOR			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Perez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ZARUMA CHIMBAY EDISON OSWALDO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA PARA CONTRIBUIR CON LA CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA PARA LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2017-07-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Perez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano DIRECTOR			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Perez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, PIZARRO TORRES ÁNGEL FERNANDO y ZARUMA CHIMBAY EDISON OSWALDO, egresados de la Carrera de INGENIERÍA AUTOMOTRIZ de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del trabajo de titulación denominado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA PARA CONTRIBUIR CON LA CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA PARA LA ESPOCH”**, nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica, y me someto a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

Pizarro Torres Ángel Fernando

Zaruma Chimbay Edison Oswaldo

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Pizarro Torres Ángel Fernando y Zaruma Chimbay Edison Oswaldo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Pizarro Torres Ángel Fernando
Cédula de Identidad: 210037012-7

Zaruma Chimbay Edison Oswaldo
Cédula de Identidad: 060381476-5

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida, al brindarme los medios necesarios para mi formación como profesional, pero sobre todo como persona.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. Gracias mamá por darme una carrera para mí futuro y por creer en mí, porque sin escatimar esfuerzo alguno, has sacrificado gran parte de tu vida para formarme y porque nunca podré pagar todo su desvelo, ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por lo que soy y por todo el tiempo que le robé pensando en mí.

Pizarro Torres Ángel Fernando

Esta tesis se la dedico a mi Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para no desmayar ante las adversidades sin nunca perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

Zaruma Chimbay Edison Oswaldo

AGRADECIMIENTO

De igual forma, dedico este trabajo de titulación a mi madre y padre quienes han tenido la paciencia necesaria y han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. A mis hermanos que siempre han estado junto a mí y brindándome su apoyo y cariño, los quiero mucho.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme dado cobijo y por las lecciones que aprendí en ella, asimismo a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por haberme dado su voto de confianza y por todo el apoyo otorgado a mi persona.

Igualmente a mi tutor, Ing. Luis Buenaño y asesor Ing. Bolívar Cuical quienes me han orientado en todo momento en la realización de este proyecto que enmarca el último escalón hacia un futuro en donde sea partícipe en el mejoramiento.

Pizarro Torres Ángel Fernando

Agradezco a la Escuela de Ingeniería, ya que en ella nos impartieron conocimiento, de la misma forma agradecer a los docentes por el tiempo que dedica a esta hermosa profesión, en el cual por su dedicación, por sus esfuerzos, por su paciencia y compromiso, es mi base fundamental de mi desarrollo como persona, con el cual sus, enseñanza y sabiduría sé cómo afrontar de la mejor manera los problemas y obstáculos que a diario me voy a enfrentar.

Zaruma Chimbay Edison Oswaldo

CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO REFERENCIAL	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación	2
1.3.1 <i>Justificación teórica.</i>	2
1.3.2 <i>Justificación metodológica.</i>	3
1.3.3 <i>Justificación práctica.</i>	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 <i>Objetivo general.</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos:</i>	3
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Fórmula SAE	5
2.1.1 <i>Vehículo de la fórmula SAE.</i>	6
2.2 Sistema de transmisión	6
2.3 Caja de cambios de una motocicleta.....	7
2.3.1 <i>Componentes de la caja de cambios de una motocicleta.</i>	8
2.3.2 <i>Necesidad de la caja de cambios.</i>	10
2.3.3 <i>Relaciones de cambio.</i>	10
2.3.4 <i>Relaciones de transmisión.</i>	11
2.3.5 <i>Clasificación de la caja de cambios.</i>	12
2.3.6 <i>Comportamiento de la caja de cambio.</i>	13
2.3.7 <i>Movimiento ideal de la caja de cambio.</i>	13
2.4 Selección de cambios de marcha de una moto	14
2.4.1 <i>Palanca de cambios.</i>	15
2.5 Características del motor instalado en el vehículo monoplaza	16
2.6 Sistemas electromecánicos	16
2.7 Sistemas electromecánicos en el ámbito automotriz	17
2.7.1 Sistema electromecánico para la selección de marchas.....	17
2.7.2 <i>Estructura del sistema electromecánico para la selección de marchas.</i>	17
2.8 Ergonomía.....	21
2.8.1 <i>Aplicación de la ergonomía al diseño de máquinas.</i>	21
2.8.2 <i>Ergonomía geométrica.</i>	21
2.8.3 <i>Ergonomía respecto a la visibilidad.</i>	23
2.9 Diseño completamente al azar	25
2.9.1 <i>Características del diseño.</i>	26
3. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA	
3.1 Parámetros de diseño	27

3.2	Calculo de la fuerza necesaria para mover la palanca de cambios	27
3.2.1	<i>Torque o momento de fuerza.</i>	27
3.3	Diseño del sistema electro-mecánico.....	40
3.3.1	<i>Componentes del sistema electro-mecánico.</i>	40
3.3.2	<i>Descripcion de los elementos de entradas del sistema electro-mecánico.</i> ...	40
3.3.3	<i>Descripcion de los elementos de la unidad de control del sistema electro-mecánico.</i>	42
3.3.4	<i>Descripcion de los elementos de salidas del sistema electro-mecánico.</i>	44
3.3.5	<i>Descripcion de los elementos auxiliares.</i>	50
3.3.6	<i>Diseño e identificación de lugares de montaje del sistema electro-mecánico.</i>	52
4.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA	
4.1	Unidad de control del sistema electro-mecánico	57
4.2	Conexión de las entradas a la unidad de control.....	57
4.3	Conexión de las salidas a la unidad de control	59
4.4	Conexión general del sistema	61
4.5	Construcción del sistema electro-mecánico.....	62
4.6	Pruebas y funcionamiento.....	65
5.	ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
5.1	Proceso de selección de cambios de marcha	67
5.1.1	<i>Tiempos de accionamiento.</i>	67
5.1.2	<i>Comparación de los métodos de cambio de marchas con la ayuda de DCA.</i>	69
6.	PRESUPUESTO	
6.1	Costos directos	77
6.2	Costos indirectos.....	77
6.3	Costos totales	78
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones	79
7.2	Recomendaciones	80
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2. Clasificación de la caja de cambios, por su accionamiento.....	12
Tabla 2-2. Clasificación de la caja de cambios, por su naturaleza	12
Tabla 3-2. Características del motor	16
Tabla 4-2. Elementos de control y sus aplicaciones	23
Tabla 5-2. Características de los elementos de mando	24
Tabla 6-2. ANOVA para el DCA	25
Tabla 1-3. Cálculo de la constante de elasticidad del resorte	32
Tabla 2-3. Componentes del sistema electromecánico	40
Tabla 3-3. Alternativas de selección, servomotores	48
Tabla 4-3. Criterios de Valorización, torque	49
Tabla 5-3. Criterios de valorización, velocidad	49
Tabla 6-3. Criterios de valorización, rotación	49
Tabla 7-3. Criterios de valorización, costo	49
Tabla 8-3. Tabla de ponderación para criterios de valorización	50
Tabla 9-3. Selección del servo	50
Tabla 1-4. Tiempos de accionamiento en segundos.	65
Tabla 1-5. Simograma, Accionamiento manual	67
Tabla 2-5. Simograma accionamiento automático, incremento de marcha	68
Tabla 3-5. Simograma accionamiento automático, disminución de marcha	68
Tabla 4-5. Simograma accionamiento automático, disminución de marcha directo a neutro	68
Tabla 5-5. Tiempos de accionamiento.	69
Tabla 1-6. Costos directos.....	77
Tabla 2-6. Costos indirectos	77
Tabla 3-6. Costos totales.....	78

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1-2. Vehículo monoplaza, fórmula SAE	6
Figura 2-2. Sistema de transmisión	7
Figura 3-2. Compacto del motor y caja de cambios de una motocicleta	7
Figura 4-2. Eje primario y secundario; caja de cambios de una moto.....	8
Figura 5-2. Sincronizadores; caja de cambios de una motocicleta	8
Figura 6-2. Encaje de los dientes en el piñón	9
Figura 7-2. Marchas de la caja de cambios.....	9
Figura 8-2. Tambor selector, caja de cambios	10
Figura 9-2. Relaciones de una caja de cambios	11
Figura 10-2. Relaciones de transmisión.....	11
Figura 11-2. Caja de cambios robotizada	12
Figura 12-2. Comportamiento de la caja de cambios	13
Figura 13-2. Movimiento ideal de la caja de cambios.....	14
Figura 14-2. Elementos para la selección de cambios de marcha en una moto.....	14
Figura 15-2. Movimientos de la palanca de cambios	15
Figura 16-2. Estructura del sistema	19
Figura 17-2. Unidad de control Arduino	19
Figura 18-2. Estructura de un programa Arduino.....	20
Figura 19-2. Características estáticas o dimensiones del cuerpo humano.....	22
Figura 20-2. Dimensiones funcionales del cuerpo humano.....	22
Figura 21-2. Ejemplos de diferentes tipos de elementos de control y error de lectura..	23
Figura 1-3. Torque, palanca de cambios.....	28
Figura 2-3. Posición de la palanca de cambios.....	29
Figura 3-3. Principio de funcionamiento de un dinamómetro	29
Figura 4-3. Ley de Hooke	30
Figura 5-3. Resorte helicoidal metálico	31
Figura 6-3. Materiales para determinar el constante de elasticidad.....	31
Figura 7-3. Procedimiento para determinar la constante de elasticidad	32
Figura 8-3. Sentidos de giro de la palanca de cambios.....	33
Figura 9-3. Fuerza.....	33
Figura 10-3. Procedimiento para determinar la fuerza	34
Figura 11-3. Trabajo ejercido sobre la palanca de cambios	35
Figura 12-3. Trabajo	36
Figura 13-3. Torque o momento de fuerza	38
Figura 14-3. Ubicación del servomotor	38
Figura 15-3. Momento de fuerza, M_1	39
Figura 16-3. Estructura del sistema electromecánico	40
Figura 17-3. Sensor de contacto KW11-3Z.....	41
Figura 18-3. Switch carbono tipo avión con led.....	42

Figura 19-3. Pines Arduino UNO	43
Figura 20-3. Pantalla LCD 1602.....	44
Figura 21-3. Pines de la pantalla LCD.....	44
Figura 22-3. Controlador LCD I2C	46
Figura 23-3. Pines I2C	46
Figura 24-3. I2C conectado a la pantalla LCD	46
Figura 25-3. Servomotor.....	47
Figura 26-3. Componentes de un servomotor.....	47
Figura 27-3. Alternativas de selección, servomotores.....	48
Figura 28-3. Servo DW845WP.....	50
Figura 29-3. Elementos auxiliares, cables	51
Figura 30-3. Fuente regulada de voltaje	51
Figura 31-3. Soporte para Arduino uno	52
Figura 32-3. Soporte para pantalla LCD.....	52
Figura 33-3. Ubicación sensores de contacto.	53
Figura 34-3. Diseño del acople al volante	53
Figura 35-3. Ensamble del diseño	54
Figura 36-3. Área factible para la ubicación de la unidad de control.....	54
Figura 37-3. Ubicación del servomotor.	55
Figura 38-3. Diseño de la base	55
Figura 39-3. Acople del servomotor	55
Figura 40-3. Ensamble del sistema.....	56
Figura 41-3. Área para ubicar el LCD	56
Figura 1-4. Conexión de las entradas a la unidad de control.....	58
Figura 2-4. Conexión de las salidas a la unidad de control	60
Figura 3-4. Conexión del sistema electromecánico	61
Figura 4-4. Instalación, interruptor del sistema electromecánico.....	62
Figura 5-4. Conexión de la unidad de control a las entradas y salidas del sistema.....	62
Figura 6-4. Instalación de la pantalla LCD.....	63
Figura 7-4. Instalación del servomotor	63
Figura 8-4. Posición de la palanca del servomotor.....	64
Figura 9-4. Instalación, palanca del servomotor.....	64
Figura 10-4. Instalación, acople del volante	64
Figura 11-4. Instalación de socket	65
Figura 1-5. Ingresar datos a Minitab.....	70
Figura 2-5. Minitab, DCA	70
Figura 3-5. Minitab: ANOVA	71
Figura 4-5. Minitab: ANOVA, Options.....	71
Figura 5-5. Minitab: ANOVA: Graphs.....	72
Figura 6-5. Minitab: ANOVA, Results.....	72
Figura 7-5. Minitab: Resultado ANOVA	73
Figura 8-5. Minitab: Probability Distribution plot	73
Figura 9-5. Minitab: View Probability	74
Figura 10-5. Distribución de Fisher	74

Figura 11-5. Coeficiente de Fisher Tabulado	75
Figura 12-5. Comparación de tiempos promedio: manual y automático.....	75

RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla el diseño y la implementación de un sistema electromecánico de selección de cambios de marcha en un vehículo de competencia para la Fórmula SAE. Para desarrollar el trabajo se aplicó la siguiente metodología o procedimiento: Establecer los parámetros de diseño del sistema electromecánico, calcular el momento de fuerza o torque necesario para mover la palanca de cambios aplicando el principio de funcionamiento de un dinamómetro, determinar los componentes del sistema electromecánico estructurado por los elementos de entrada/salida (sensores/servomotor) y la unidad de control que la constituye un Arduino UNO, construir el sistema electromecánico basado en los diagramas de conexión realizados en un software de simulación, verificar el óptimo funcionamiento del sistema en función del tiempo de accionamiento y el engrane correcto de cada una de sus marchas y analizar los resultados obtenidos por medio de simogramas y el método de Diseño Completamente al Azar. Una vez aplicada la metodología mencionada, los resultados obtenidos fueron: una reducción de 1.9 segundos del tiempo de accionamiento de la palanca de cambios y se mejoró el método de selección de cambios de marcha. En conclusión con la implementación del sistema electromecánico se redujo el tiempo de accionamiento de la palanca de cambios, se optimizó y se mejoró el método de conducción del vehículo. Finalmente se recomienda optimizar de la mejor manera la programación y los flujos de información, para evitar la saturación de los procesadores de la placa arduino uno y por ende lograr una mayor rapidez de funcionamiento.

PALABRAS CLAVE: <SISTEMA ELECTROMECAÁNICO>, <CAMBIO DE MARCHA>, <ACCIONAMIENTO AUTOMÁTICO>, <PALANCA CAMBIOS>, <INGENIERÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>.

ABSTRAC

This degree work details the design and implementation of an electromechanical system of selection of gear changes in a motor vehicle for the SAE formula. To develop this work the following methodology or procedure was applied: To establish the design parameters of the electromechanical system, to calculate the moment of power or torque needed to move the shift lever by applying the principle of dynamometer operation, to determine the components of the electromechanical system structured by the input / output elements (sensors / servomotor) and the control unit that constitutes an Arduino ONE, to build the electromechanical system based on the connection diagrams made in a simulation software, to verify the optimum operation of the system in function of the driving time and the correct gear of each of its driving positions and analyze the results obtained by means of simograms and the method of Completely Randomized Design. After applying the mentioned methodology, the obtained results were: a reduction of 1.9 seconds of the time of operation of the shift lever and the method of selection of gear changes was improved. In conclusion with the implementation of the electromechanical system the driving time of the shift lever was reduced, the method of driving the vehicle was optimized and improved. Finally, it is recommended to optimize in a better way the programming and the information flows, in order to avoid the saturation of the processors of the board Arduino one and therefore to achieve a greater speed of operation.

KEYWORDS: <ELECTROMECHANICAL SYSTEM>, <GEAR SHIFT>, <AUTOMATIC DRIVING>, <SHIFT LEVER>, <AUTOMATIC CONTROL ENGINEERING>.

INTRODUCCIÓN

La Fórmula SAE conocida también como Fórmula Student es una competición organizada por la Society of Automotive Engineers, en la cual participan estudiantes de universidades de todo el mundo que diseñan, construyen y compiten con un vehículo monoplace.

A nivel mundial, las universidades participantes se enfrentan al reto de mejorar el rendimiento de sus vehículos monoplace adoptando nuevos mecanismos y tecnologías de la ingeniería Automotriz. La Universidad Politécnica del Ejército y la Universidad Politécnica Salesiana son las representantes del Ecuador en la Fórmula SAE.

La fórmula SAE pone en práctica los conocimientos adquiridos por los estudiantes, al desafiarlos a diseñar, construir y probar el rendimiento de un vehículo real en un entorno competitivo a nivel mundial.

Por lo descrito anteriormente la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo conjuntamente con la carrera de Ingeniería Automotriz desea ser parte de la fórmula SAE, por lo que se ha enfocado en la construcción de un vehículo monoplace.

El vehículo que se está construyendo en la carrera de Ingeniería Automotriz es una contribución de los estudiantes, en el que se plasman los conocimientos adquiridos en el transcurso de su formación y su objetivo es el mejoramiento continuo del vehículo adoptando las nuevas tecnologías de la Industria Automotriz.

Una de las formas para mejorar el desempeño del vehículo Fórmula SAE, es instalando un sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha, consiguiendo principalmente la reducción de tiempos en los cambios y aumento de la tracción.

Con este antecedente, se ha planteado el presente tema de tesis denominado: “Diseño e implementación de un sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha para contribuir con la construcción de un vehículo de competencia para la EsPOCH”.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La Fórmula SAE conocida también como Fórmula Student surgió en Michigan, Estados Unidos, en el año 1982; es una competición organizada por la Society of Automotive Engineers, en la cual participan estudiantes de universidades de todo el mundo que diseñan, construyen y compiten con un vehículo monoplace.

A pesar de ser una competición automovilística, no lo es en su concepto habitual; ya que realmente lo que se premia es el trabajo de ingeniería que hay detrás de todo el proceso de diseño, creación, puesta a punto y evolución del vehículo monoplace.

Actualmente, debido al éxito que ha alcanzado, las competiciones de la fórmula SAE se desarrollan en diferentes países: Estados Unidos, Australia, Brasil, Italia, Reino Unido, Alemania y Austria.

En esta prestigiosa competición participan las mejores universidades de países como EEUU, Alemania, Italia, Brasil, Japón, entre otros; siendo la Universidad Politécnica del Ejército y la Universidad Politécnica Salesiana representantes de Ecuador en la Fórmula SAE. (Elizalde Saritama, y otros, 2016)

La fórmula SAE pone en práctica los conocimientos adquiridos por los estudiantes, al desafiarlos a diseñar, construir y probar el rendimiento de un vehículo real en un entorno competitivo a nivel mundial.

Con este antecedente, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo conjuntamente con la Escuela de Ingeniería Automotriz se enfoca en la construcción de un prototipo Fórmula SAE, para en un futuro cercano llegar a ser partícipes de esta competición. El prototipo que se está construyendo en la carrera de Ingeniería Automotriz es una contribución de los estudiantes, en el que se plasman los conocimientos adquiridos en el transcurso de su formación y su objetivo es el mejoramiento continuo del vehículo adoptando las nuevas tecnologías de la Industria Automotriz.

Este proyecto ya se ha venido realizando con temas de tesis terminadas como es el chasis, carrocería, dirección, suspensión, entre otros; y temas que se están ejecutando como el correspondiente al presente trabajo de tesis: sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha.

1.2 Planteamiento del problema

En el Ecuador, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en particular la carrera de Ingeniería Automotriz y con el pleno apoyo de las autoridades, desarrolla un prototipo de vehículo monoplace de competición basado en los reglamentos de la fórmula SAE; cabe recalcar que este proyecto lo desarrollan fundamentalmente los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz.

El accionamiento de la palanca de cambios se lo realiza de forma manual lo cual genera: mayores tiempos de accionamiento, difícil acceso al mando de control de cambio de marcha, distracción del piloto al momento de conducir, disminuye la maniobrabilidad de la puesta en marcha.

Con el desarrollo del presente trabajo de titulación denominado “Diseño e implementación de un sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha para contribuir con la construcción de un vehículo de competencia para la Espoch” se pretende: reducir el tiempo de accionamiento de la palanca cambios, facilitar el acceso al mando de control de marcha; evitar la desconcentración del piloto al momento de la selección de marcha; aumentar la visibilidad, maniobrabilidad, seguridad y confortabilidad del piloto. Además se pretende demostrar que en la Espoch y en el país existe talento capaz de crear y diseñar nuevos sistemas de control acorde a los adelantos tecnológicos y científicos en el ámbito automotriz.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica.* El trabajo propuesto busca, mediante la aplicación de la teoría y los conceptos que rigen el ámbito automotriz, encontrar soluciones para mejorar el rendimiento del vehículo monoplace, específicamente para mejorar el sistema de cambios de marcha.

A su vez se pretende que el presente trabajo de titulación sea un aporte teórico para los estudiantes de la carrera de ingeniería automotriz, en cuanto a sistemas electro-mecánicos de selección de cambios de marcha se refiere.

1.3.2 *Justificación metodológica.* El presente trabajo de titulación, mediante la adopción de un sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha, aportará al piloto un método mejorado para conducir el vehículo monoplace.

En definitiva este trabajo se justifica plenamente de forma metodológica al aportar un nuevo método, que le permitirá al conductor optimizar su proceso de conducción.

1.3.3 *Justificación práctica.* La implementación de un sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha en el vehículo monoplace aumentará la visibilidad, seguridad y confortabilidad del piloto; evitará la desconcentración del piloto al momento de la selección de marcha; reducirá el tiempo en el accionamiento de cambios; reducirá el peso del vehículo, eliminar mecanismo mecánicos de selección de marcha y facilitará el acceso al mando de control de marcha.

Además el trabajo de titulación que se plantea está orientado servir de guía para otras instituciones que deseen implementar un sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha.

1.4 **Objetivos**

1.4.1 *Objetivo general.* Diseñar e implementar un sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha para contribuir con la construcción de un vehículo de competencia para la Espoch.

1.4.2 *Objetivos específicos:*

- Diseñar y construir el sistema electromecánico de cambios de marchas, mediante la selección adecuada de elementos, que permitan optimizar el proceso de conducción del vehículo.

- Cumplir los parámetros de diseño establecidos, tales como, reducción del tiempo de accionamiento, incremento de la maniobrabilidad y confortabilidad del piloto y facilidad de acceso al mando de control de marcha.
- Realizar pruebas, mediciones experimentales con el fin de evaluar el correcto funcionamiento del sistema electromecánico.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fórmula SAE

El programa SAE International Formula SAE es un concurso de diseño de ingeniería para estudiantes de pregrado y posgrado. El concurso ofrece a los participantes la oportunidad de mejorar sus habilidades de diseño de ingeniería y gestión de proyectos mediante la aplicación de teorías aprendidas de aula en una competencia desafiante. El objetivo de diseño de ingeniería para los equipos es desarrollar y construir un coche de carreras de un solo asiento para el corredor de autocross de fin de semana no profesional con el mejor paquete global de diseño, construcción, rendimiento y costo. (SAE , 2017)

Actualmente, debido al éxito que ha alcanzado, las competiciones de la fórmula SAE se desarrollan en diferentes países:

- Formula SAE en Michigan (EEUU), organizada por SAE
- Formula SAE oeste en California (EEUU), organizada por SAE
- Formula SAE VIR en Virginia (EEUU), patrocinada por SAE
- Formula SAE Australiana en Australia, organizada por SAE Australia
- Formula SAE Brasileña en Brasil, organizada por SAE Brasil
- Formula SAE Italiana en Italia, organizada por ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile)
- Formula Student en Reino Unido, organizada por IMechE (Institution of Mechanical Engineers)
- Formula Student Austria, organizada por primera vez en la temporada 2009.

2.1.1 *Vehículo de la fórmula SAE.* El Vehículos que entra en las competencias de Fórmula SAE debe ser concebido, diseñado, fabricado y mantenido por los miembros del equipo del estudiantes, sin la participación directa de los ingenieros profesionales, los ingenieros de automoción, pilotos, mecánicos o profesionales relacionados. (SAE, 2016)

En cuanto al chasis existen unas restricciones en cuanto al diseño y materiales empleados, sobre todo de cara a la seguridad del piloto. La mayoría de los equipos emplean chasis multitubulares de acero bajo en carbono.

En cuanto al apartado de los frenos hay mucha libertad en cuanto al material empleado, siempre que sea un sistema hidráulico con dos circuitos independientes.

Figura 1-2. Vehículo monoplaza, fórmula SAE



Fuente: <https://goo.gl/tGGu2v>

2.2 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión es el conjunto de elementos destinados a transmitir la potencia desde la salida del motor hasta las ruedas.

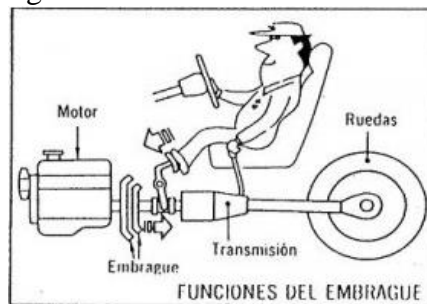
Sus partes constitutivas cumplen tareas específicas y a su vez se interaccionan para trabajar en conjunto, contando con ubicaciones y cantidades variadas de acuerdo a la situación del motor y la configuración del eje motriz. (Taller Virtual, 2008)

En primer lugar, el embrague, situado entre el motor y la caja de cambios, acopla o desacopla el motor de la caja de cambios, al cambiar de marcha, o asegura una unión progresiva en el arranque. (Taller Virtual, 2008)

La caja de cambios, situada entre el embrague y el eje motriz, modifica la fuerza o la velocidad aplicada a las ruedas, aprovechando la potencia del motor para vencer las resistencias del vehículo al desplazarse. El árbol de transmisión tiene la misión de transmitir el movimiento salido de la caja de cambios hacia el eje motriz, transmitiéndose así hasta las ruedas. (Taller Virtual, 2008)

Finalmente, el eje motriz puede estar situado en la parte trasera, delantera o en ambas partes del vehículo, y tiene en su interior al par cónico piñón-corona que reduce la velocidad, y al diferencial, que permite que al tomar una curva la rueda exterior lleve más velocidad que la interior (relacionada con la diferencia de espacio recorrido). (Taller Virtual, 2008)

Figura 2-2. Sistema de transmisión



Fuente: <https://goo.gl/B45Qw8>

2.3 Caja de cambios de una motocicleta

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. Está formada por varios grupos de engranes que al alternarse varían y transforman el par motor. (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

Figura 3-2. Compacto del motor y caja de cambios de una motocicleta.



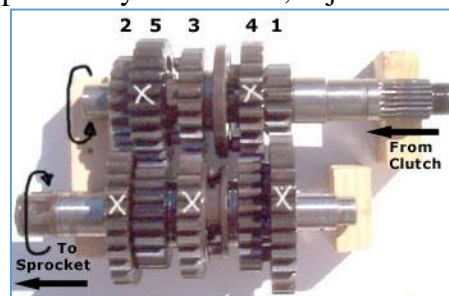
Fuente: (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

2.3.1 Componentes de la caja de cambios de una motocicleta. El funcionamiento de una caja de cambios secuencial de 5 velocidades de una motocicleta tiene los siguientes componentes:

- **Ejes primario y secundario**

Como se puede observar en la imagen, las cajas de cambios de las motos sólo tienen 2 ejes.

Figura 4-2. Eje primario y secundario; caja de cambios de una moto



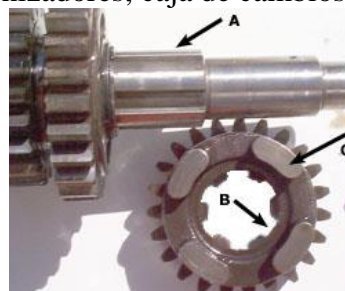
Fuente: (Villahermosa, 2013)

El primario (el de arriba) recibe el movimiento del embrague (que a su vez va engranado con un piñón al cigüeñal). En él están cada uno de los piñones primarios de cada marcha. Los piñones marcados con una X son a su vez piñones y sincronizadores (estos giran solidarios al eje en el que van montados). (Villahermosa, 2013)

- **Sincronizadores**

La función de los sincronizadores, como su nombre indica, es la de sincronizar (igualar las velocidades del eje y del piñón y hacerlos solidarios) los 2 ejes para que engranen la marcha deseada. (Villahermosa, 2013)

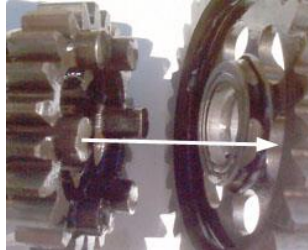
Figura 5-2. Sincronizadores; caja de cambios de una motocicleta



Fuente: (Villahermosa, 2013)

Como se puede ver en la siguiente figura, el sincronizador lleva el estriado B igual que el estriado A del eje correspondiente y los “dientes” C encajan en el piñón que llevan a su lado (para hacer que gire solidario a él). (Villahermosa, 2013)

Figura 6-2. Encaje de los dientes en el piñón



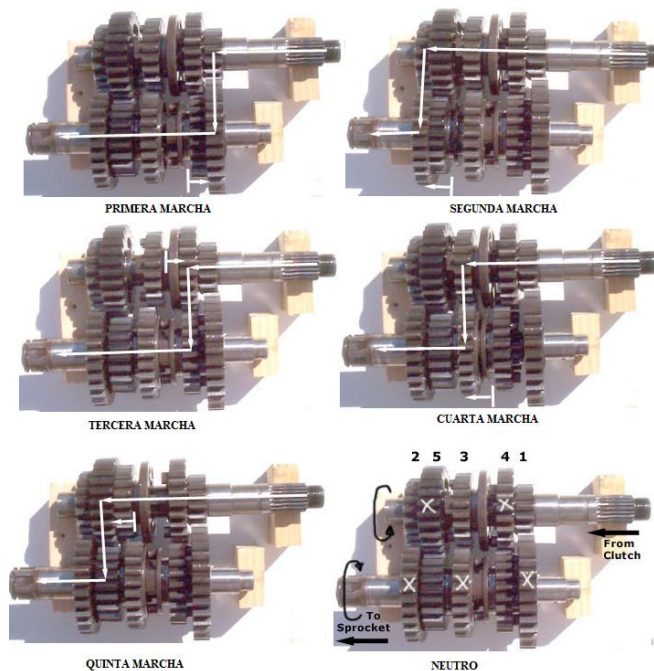
Fuente: (Villahermosa, 2013)

Sólo los sincronizadores giran solidarios a sus ejes, el resto de piñones giran “locos”.

- **Marchas engranadas**

En la siguiente figura se puede observar como engranarían las marchas (las flechas pequeñas indican hacia donde se mueve el sincronizador correspondiente). Las flechas blancas largas indican el movimiento que se produce desde el embrague hacia el piñón de salida de la caja de cambios. (Villahermosa, 2013)

Figura 7-2. Marchas de la caja de cambios



Fuente: (Villahermosa, 2013)

- **Tambor selector**

Para determinar la posición de las horquillas y así la marcha engranada, es necesario que las horquillas permanezcan fijas sin moverse involuntariamente. Para ello está el tambor selector. (Villahermosa, 2013)

Figura 8-2. Tambor selector, caja de cambios



Fuente: (Villahermosa, 2013)

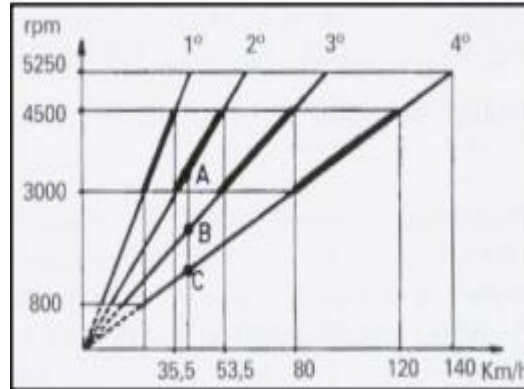
2.3.2 *Necesidad de la caja de cambios.* Las resistencias que se oponen a la marcha de un vehículo son: La resistencia a la rodadura, que es la que se opone el vehículo a mantener una velocidad determinada; la resistencia a la inercia en las aceleraciones, la resistencia a las pendientes, y la resistencia al aire. Estas resistencias se traducen en un esfuerzo de giro a vencer en la transmisión, que es el par resistente. Si el par motor aplicado a la transmisión a través del cambio es igual al par resistente, la velocidad del vehículo se mantendrá constante; si el par motor es mayor que el resistente, el vehículo se acelerará; y si es menor, tenderá a pararse. (Caiza Coello, y otros, 2007)

2.3.3 *Relaciones de cambio.* Efectivamente, la caja de cambios es un transformador de velocidad y de par motor, que se usa como desmultiplicador de velocidad, o como multiplicador de par.

Al representar las relaciones de una caja de cambios de un vehículo sobre un gráfico, podemos observar en el eje de abscisas las velocidades del vehículo y en el eje de ordenadas los regímenes del motor. Así obtenemos una serie de rectas que representan las distintas velocidades.

Debido a las diferentes desmultiplicaciones de cada velocidad observamos que para un mismo número de revoluciones obtenemos diferentes velocidades según la relación de la caja de cambios. (Caiza Coello, y otros, 2007)

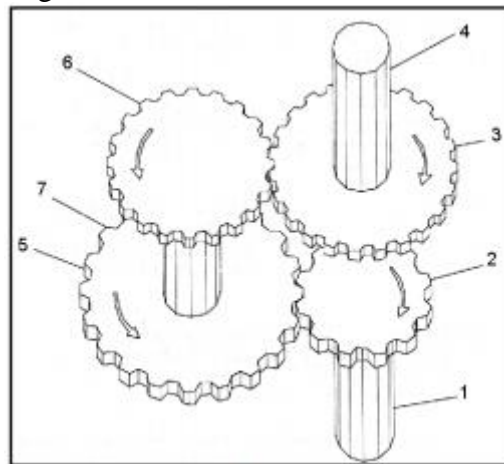
Figura 9-2. Relaciones de una caja de cambios



Fuente: (Caiza Coello, y otros, 2007)

2.3.4 Relaciones de transmisión. Un cambio de velocidades consiste básicamente en una combinación de varios trenes de engranajes de distinto valor de reducción, como se muestra en la siguiente figura, de tal manera que el movimiento pueda ser transmitido desde el eje de entrada (1) al eje de salida (4), según las necesidades de marcha del vehículo. (Caiza Coello, y otros, 2007)

Figura 10-2. Relaciones de transmisión



Fuente: (Caiza Coello, y otros, 2007)

Por lo tanto, con el uso de la caja de cambios se mantienen, dentro de unos márgenes de funcionamiento óptimos, la potencia desarrollada por el motor en las diferentes condiciones de marcha, aumentando de este modo el par de salida a cambio de reducir el número de revoluciones en las ruedas, a la relación de desmultiplicación que se aplica en la caja de cambios para obtener el aumento de par necesario en las ruedas se la denomina relación de transmisión la cual es en función de los diámetros de los engranajes y el número de dientes de los mismos. (Caiza Coello, y otros, 2007)

2.3.5 Clasificación de la caja 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. (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

Tabla 1-2. Clasificación de la caja de cambios, por su accionamiento

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.

Fuente: (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

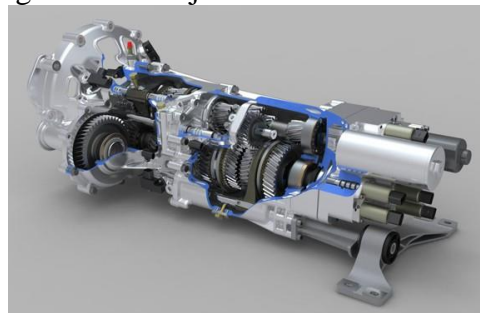
Tabla 2-2. Clasificación de la caja de cambios, por su naturaleza

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.

Fuente: (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

2.3.5.1 Caja de cambios robotizada. Este tipo de transmisión es una caja de cambios manual que se beneficia de una automatización de los controles de embrague y del cambio marchas.

Figura 11-2. Caja de cambios robotizada



Fuente: <https://goo.gl/LzxUm1>

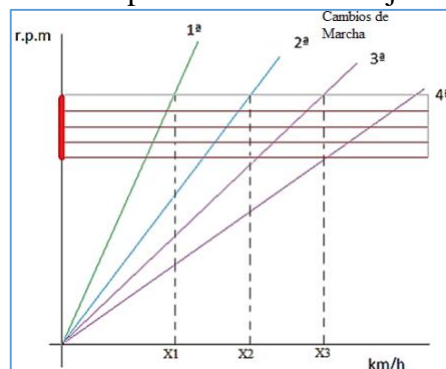
¿En qué consiste? Este tipo de transmisión es una caja de cambios manual que se beneficia de una automatización de los controles de embrague y del cambio marchas. Esta tecnología se hizo popular al final de los 90, sobre todo en los Alfa Romeo.

¿Para qué sirve? El cambio de marchas automático ofrece sin duda alguna un confort en la conducción superior a un cambio manual, aunque por desgracia aumente el consumo de carburante. La caja de cambios robotizada intenta reunir lo mejor de estos dos tipos de transmisión. Su tecnología es la misma que la de una caja de cambios manual, por lo que ve reducido el consumo, y los controles manuales se automatizan para tratar de igualar el confort de los cambios automáticos.

¿Cómo funciona? En el caso de la caja de cambios robotizada, se emplean en ella elevadores eléctricos o hidráulicos para reemplazar el pedal de embrague y la palanca de cambios. Un calculador electrónico determina el mejor momento para cambiar de marcha y sincroniza las diferentes operaciones. El conductor puede igualmente pasar al modo manual, lo que le permite cambiar de marchas según crea conveniente.

2.3.6 Comportamiento de la caja de cambio. En la siguiente figura, 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. (Sanchez, 2004)

Figura 12-2. Comportamiento de la caja de cambios

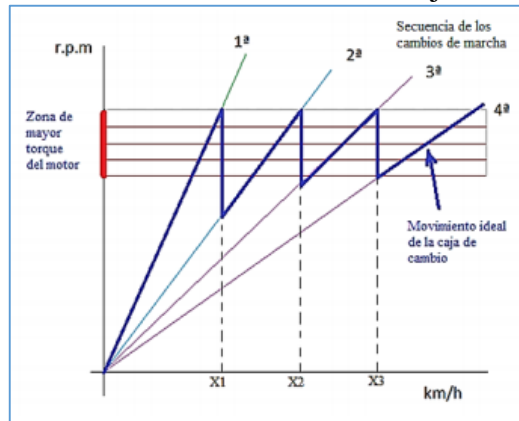


Fuente: (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

2.3.7 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 siguiente figura: (Sánchez, 2004)

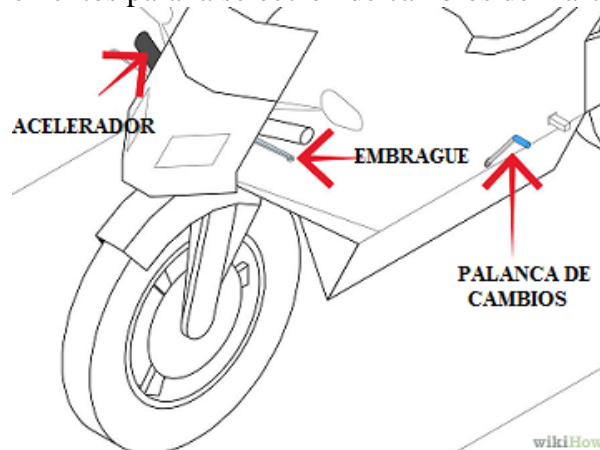
Figura 13-2. Movimiento ideal de la caja de cambios



Fuente: (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

2.4 Selección de cambios de marcha de una moto

Figura 14-2. Elementos para la selección de cambios de marcha en una moto



Fuente: <https://goo.gl/b8Rq1v>

Para realizar los cambios de velocidad en una moto con transmisión manual generalmente se sigue el siguiente procedimiento: (WIKIHOW, 2017)

- Apretar el embrague
- Acelerar el motor
- Ajustar la palanca de cambios

El embrague es el encargado de transferir el par de torsión desde el motor a la transmisión, acelerar el motor evita que se apague y la palanca de cambios es la encargada de cambiar las velocidades. (Wikihow, 2017)

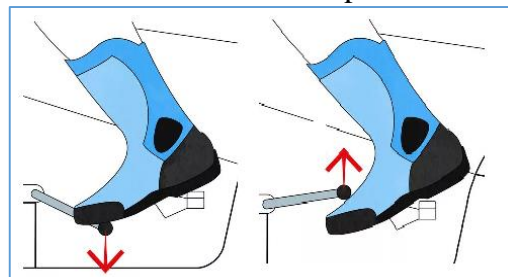
El embrague se encuentra detrás del manillar izquierdo de la moto, mientras que la palanca de cambios es una barra que está junto al pie izquierdo. (Wikihow, 2017)

Para colocar la moto en la primera velocidad tienes que presionar la palanca de cambios hacia abajo, y para colocarla en las otras velocidades tienes que empujar para arriba. (Wikihow, 2017)

2.4.1 Palanca de cambios. La palanca de cambios de marcha esta enfrente del estribo izquierdo y se opera con el pie izquierdo.

Para cambiar a una marcha mayor, coloque el pie debajo de la palanca y súbala; para cambiar a una marcha menor presione la palanca hacia abajo. (Motorcycle Safety Foundation, 2014)

Figura 15-2. Movimientos de la palanca de cambios



Fuente: (Wikihow, 2017)

La palanca de cambio de marcha cambia una marcha (engrane) cada vez que se alza o se baja. Al soltar la palanca se libera el mecanismo y regresa al centro para que se restablezca y esté listo para el próximo cambio a una marcha mayor o menor. (Motorcycle Safety Foundation, 2014)

El patrón típico de cambio es 1-N-2- 3-4-5-6. La N significa neutral el cual, se selecciona ya sea “subiendo a la mitad” desde 1era marcha o “presionando a la mitad” desde 2da marcha. La mayoría de las motocicletas cuentan con cinco marchas pero algunas pueden tener cuatro o seis. (Motorcycle Safety Foundation, 2014)

2.5 Características del motor instalado en el vehículo monoplaza.

Tabla 3-2. Características del motor

Fabricante	Yamaha Motor Company
Clase	Motocicleta deportiva
Motor	599 cc, 4 tiempos, enfriamiento líquido, 4-cilindros en línea transversal, DOHC, 16 válvulas
Compresión	12,0 : 1
Velocidad máxima	255 km/h 1/4 milla:11.4 segs. @189.0 km/h (117 mph)
Potencia	66,8 kW (91 CV) @ 10500 RPM 2
Par motor	65.7 Nm @ 8500 RPM
Tipo de ignición	Digital, transistores
Transmisión	6-velocidades, Accionamiento secuencial, manual
Bastidor	Doble Delta de acero

Fuente: Yamaha Motor Company

2.6 Sistemas electromecánicos

Los sistemas electromecánicos surgen de la combinación de distintas áreas del conocimiento, como el electromagnetismo, la electrónica, la electricidad y la mecánica. Se aplica principalmente en mecanismos eléctricos, máquinas industriales, generación y transformación de energía.

- **Electromagnetismo:** Es la parte de la electricidad que estudia la relación entre los fenómenos eléctricos y los fenómenos magnéticos.
- **Electrónica.-** Es el campo de la ingeniería y de la física aplicada al diseño y empleo de dispositivos, por lo general circuitos electrónicos, cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción, almacenamiento de información, entre otros.
- **Electricidad:** es el conjunto de fenómenos físicos relacionados con la presencia y flujo de cargas eléctricas.
- **Mecánica:** Parte de la física que estudia el movimiento y el equilibrio de los cuerpos, así como de las fuerzas que los producen.

2.7 Sistemas electromecánicos en el ámbito automotriz

Hoy en día los sistemas electromecánicos se han podido utilizar en varios aspectos del área automotriz para satisfacer la necesidad del conductor, al cual le guste la transmisión mecánica pero con un uso menos complicado, y así optimizar el proceso de conducción.

La implantación de sistemas electromecánicos en el automóvil comenzó con la aparición de los primeros sistemas de inyección electrónica de gasolina sustituyendo al carburador. Se logró así una dosificación exacta del combustible para su mejor combustión y la optimización del rendimiento del motor.

Desde la gestión del motor se ha ido ampliando la aplicación del control electrónico y actualmente lo podemos encontrar en el cambio manual de marchas con gestión electrónica.

2.7.1 *Sistema electromecánico para la selección de marchas.* En los primeros sistemas de cambios automáticos, la forma de la selección de marchas se realizaba hidráulicamente. Los estados de funcionamiento se registraban mediante elementos constructivos hidráulicos, neumáticos y eléctricos, que se convertían en presiones, con lo que se activaba la selección de marchas. (Meganeboy, 2014)

En el curso del desarrollo de la electrónica aplicada a la técnica automovilística, estos elementos constructivos se sustituyeron por los correspondientes componentes electrónicos. (Meganeboy, 2014)

El mando "hidráulico" del cambio se convirtió en mando "electrónico" del cambio. El mando electrónico del cambio se convirtió en el elemento central de la lógica y ejecución de mando. (Meganeboy, 2014)

Los puntos de acoplamiento del cambio se forman a partir de un gran número de informaciones que describen la situación momentánea de funcionamiento y marcha.

2.7.2 *Estructura del sistema electromecánico para la selección de marchas.* La estructura del sistema electromecánico se divide en tres bloques:

- **Sensores o Entradas:**

- Constituyen las entradas de la unidad electrónica de control.
- Introducen la información necesaria para el sistema. Transforman una magnitud física en una señal eléctrica.
- Según la magnitud física que captan existen sensores de temperatura, caudal, presión, velocidad, posición, etc.
- La señal eléctrica que envían puede ser analógica o digital.

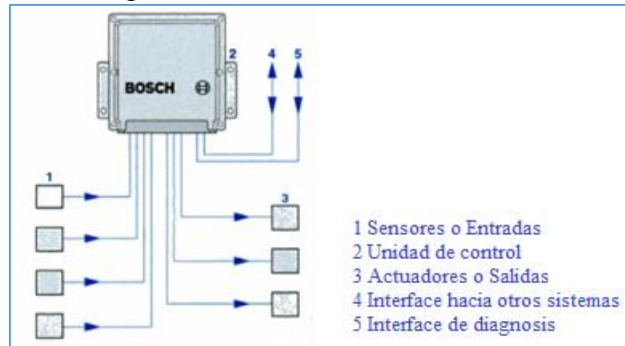
- **Unidad de control electrónica:** procesa las informaciones de los sensores conforme a determinados procesos de cálculo matemáticos (algoritmos de control y regulación).

Ella activa los elementos actuadores mediante señales de salida eléctricas. La unidad de control viene a ser además el interface para otros sistemas y para la diagnosis del vehículo. (Bosch, 2002)

- **Actuadores o Salidas:**

- Se conectan en las salidas de la unidad electrónica de control.
- Reciben las órdenes de ejecutar tareas concretas bajo el control del sistema.
- Transforman una corriente eléctrica de mando en movimiento, calor, luz, etc.
- Los actuadores pueden ser motores, electroimanes, bombas, lámparas, electroválvulas, resistencias, etc.
- La corriente eléctrica de mando puede ser continua de valor fijo o de valor regulable y también puede ser una señal PWM.

Figura 16-2. Estructura del sistema



Fuente: (Bosch, 2002)

2.7.2.1 Unidad de control. La unidad de control la definiremos como el cerebro, o unidad de procesado central del sistema electromecánico. Más concretamente, podemos decir que será el dispositivo que se encargará de procesar los datos de los sensores, así como las indicaciones de movimiento enviadas por el usuario, y actuar sobre los motores en consecuencia. La plataforma Arduino puede desempeñar el papel de unidad de control.

Figura 17-2. Unidad de control Arduino



Fuente: <https://goo.gl/1UlwjP>

Arduino es una plataforma de electrónica abierta (open Hardware) para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. (Letrán, 2013)

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de

conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicarse con diferentes tipos de software. (Letrán, 2013)

2.7.2.2 Programación en Arduino. Programar un microcontrolador con Arduino es bastante simple, está pensado para simplificar las tareas más complejas mediante librerías disponibles para el uso, utiliza un lenguaje de programación que está basado en C y C++, su sintaxis es muy similar. (ElectronTools, 2017)

La estructura de todo programa de Arduino cuenta con dos subrutinas elementales denominadas `void setup()` y `void loop()`, en ellas se encierran bloques de código donde se hacen declaraciones e instrucciones lógicas. (ElectronTools, 2017)

Figura 18-2. Estructura de un programa Arduino

```
void setup() {  
    // put your setup code here, to run once:  
}  
  
void loop() {  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
}
```

Fuente: Autores

La subrutina `setup()` es la encargada de recoger la configuración y parametrizaciones estáticas del programa mientras que `loop()` es la que contiene las sentencias lógicas del programa. (ElectronTools, 2017)

- **Funciones básicas Arduino**

Entre las funciones básicas de programación Arduino tenemos: (ElectronTools, 2017)

- **Función `digitalWrite` y `digitalRead`.**- Estas dos funciones se utilizan para interactuar con los pines del Arduino, una es para leer un pin y la otra es para setearle algún valor al pin.
- **Función `delay()`.**- Es una función destinada a generar retardos

- **Función millis ()**.- Esta función tiene un valor de retorno, nos devuelve el tiempo en mili segundos.

La función digitalWrite cuenta con dos argumentos, el primero es a que pin va destinado el evento y el segundo es el valor que ese pin va a recibir.

La función digitalWrite tan solo tiene un argumento, en el ponemos el número del pin que queremos leer. Como pueden ver es una función simple pero de las más básicas y utilizadas al programar con Arduino.

2.8 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)

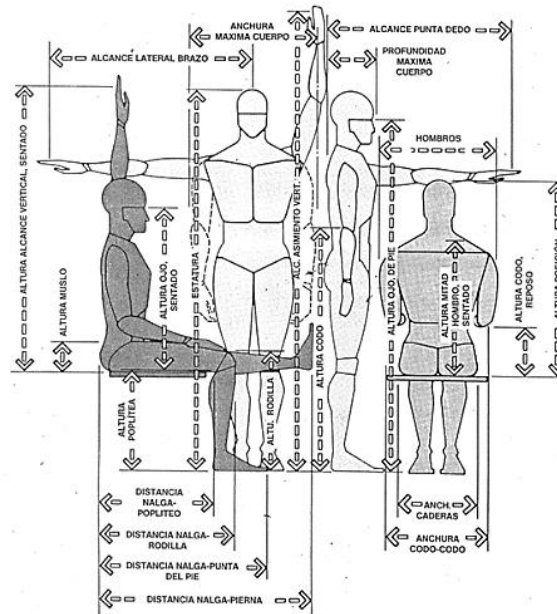
2.8.1 *Aplicación de la ergonomía al diseño de máquinas.* Es muy importante tomar en cuenta la comodidad del puesto de trabajo para el usuario, referentemente a los indicadores, manipuladores y etc. Es importante tomar en cuenta los siguientes criterios de diseño: (Cortés Díaz, 2012)

- Criterios geométricos
- Criterios de visibilidad

2.8.2 *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)

Figura 19-2. Características estáticas o dimensiones del cuerpo humano

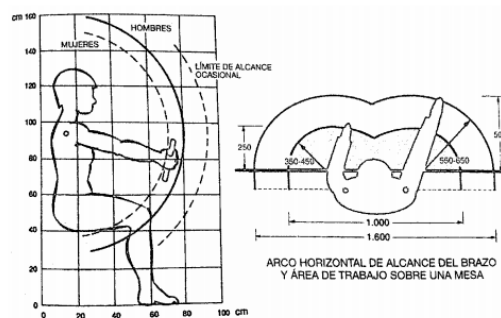


Fuente: (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

En la anterior figura, 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. (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

Existen también dimensiones dinámicas o de funcionamiento del cuerpo humano que pueden tomarse en cuenta, como se observa en la siguiente figura.

Figura 20-2. Dimensiones funcionales del cuerpo humano



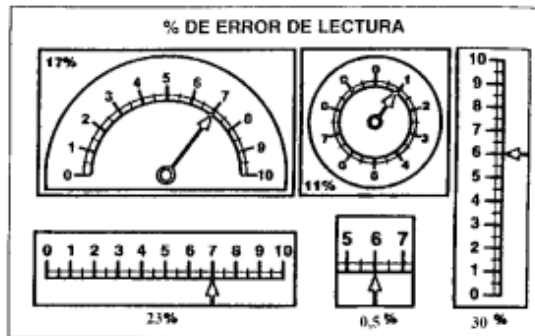
Fuente: (Bestraten Bellovi, 1994)

2.8.3 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: (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

- 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.


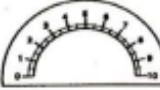

Los visualizadores para control deben ser seleccionados cuidadosamente para que exista la mayor comodidad para el operario, asimismo el menor error de lectura posible, según se lo requiera. (Cortés Díaz, 2012)

Figura 21-2. Ejemplos de diferentes tipos de elementos de control y error de lectura



Fuente: (Bestraten Bellovi, 1994)

Tabla 4-2. 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

Fuente: (Cortés Díaz, 2012)

En la anterior tabla 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. (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

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 la siguiente tabla se observan las características de selección para los diferentes tipos de mando. (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

Tabla 5-2. 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

Fuente: (Gordillo Bravo , y otros, 2015)

2.9 Diseño completamente al azar

Por medio de la implementación del sistema electromecánico se pretende optimizar el proceso de conducción del vehículo al reducir el tiempo de accionamiento de la palanca de cambios. Actualmente el accionamiento de la palanca de cambios se realiza de forma manual; con la adopción del sistema electromecánico, el accionamiento de la palanca de cambios se realiza de forma automática.

Con este antecedente; por medio de un diseño completamente al azar (DCA) se va a comprobar que el accionamiento automático es la mejor opción para optimizar el proceso de conducción del vehículo.

El diseño completamente al azar es una prueba estadística basada en el análisis de varianza, en donde la varianza total se descompone en la “varianza de los tratamientos” y la “varianza del error”.

El objetivo del DCA es determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos, para lo cual se compara si la “varianza del tratamiento” contra la “varianza del error” y se determina si la primera es lo suficientemente alta según la distribución F.

Las fórmulas que se aplican en el DCA se presentan en la siguiente tabla ANOVA (Análisis de varianza):

Tabla 6-2. ANOVA para el DCA

FV	SC	GL	CM	F_0	Valor-p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

Fuente: Autores

Para facilitar el cálculo se utilizará el software “Minitab” en el cual solo se debe especificar las características del diseño.

2.9.1 *Características del diseño.* Se definen los tratamientos que se van a aplicar y la variable a medir. Para este caso, los tratamientos son el tipo de accionamiento: manual y automático y la variable a medir es el tiempo de accionamiento.

Para concluir que existe diferencia entre el accionamiento manual y automático se debe comparar el coeficiente de Fisher “Fc” calculado de la tabla ANOVA con el coeficiente de Fisher que se presenta en tablas “Ft”.

Si $F_c > F_t$ se concluirá que el accionamiento automático es la mejor opción para optimizar el proceso de conducción del vehículo.

CAPITULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA

3.1 Parámetros de diseño

El sistema electro-mecánico de selección de cambios de marcha debe poseer ciertas características que permitan optimizar el proceso de conducción que realiza el piloto.

Para ello se ha establecido los siguientes objetivos de funcionamiento y construcción:

- Reducir el tiempo de accionamiento de la palanca de cambios.
- Facilitar el acceso al mando de control de marcha.
- Evitar la desconcentración del piloto al momento de la selección de marcha.
- Aumentar la maniobrabilidad y confortabilidad del piloto.

3.2 Cálculo de la fuerza necesaria para mover la palanca de cambios

Se puede optimizar el proceso de conducción del vehículo al reducir el tiempo de accionamiento de la palanca de cambios.

Actualmente la selección de cambios de marcha se realiza mediante una palanca de cambios que se controla de forma manual; mediante la adopción de un sistema electro-mecánico se automatizara la palanca de cambios con el fin de reducir su tiempo de accionamiento.

Por lo tanto, es fundamental el cálculo de la fuerza necesaria para mover dicha palanca de cambios para una adecuada selección de los elementos que conformaran el sistema electro-mecánico.

3.2.1 *Torque o momento de fuerza.* El cambio de marchas se produce por medio del giro de la palanca de cambios. Para girar la palanca es necesario aplicar una fuerza, a su vez esta fuerza genera un torque o momento de fuerza.

El giro de la palanca de cambios se realiza de forma manual; por medio del sistema electromecánico, usando un servomotor, se automatizará el giro de la palanca de cambios.

Para seleccionar el servomotor se debe conocer el torque o momento de fuerza que se tiene que aplicar sobre la palanca de cambios. Por lo tanto, se debe calcular dicho momento M .

La fórmula para calcular el momento de fuerza o torque es:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1)$$

Donde:

\vec{M} = Momento de la fuerza,

\vec{r} = Posición

\vec{F} = Fuerza

Figura 1-3. Torque, palanca de cambios



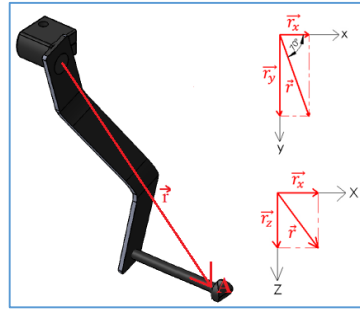
Fuente: Autores

En conclusión, para conocer el momento de fuerza que hace girar la palanca de cambios, primero se debe calcular la fuerza y la posición.

3.2.1.1 *Cálculo de la posición.* La fuerza se aplica en el extremo del pedal de la palanca de cambios (en el punto A del gráfico), por lo tanto para conocer la posición " \vec{r} " se debe determinar las coordenadas rectangulares x , y , z .

$$\vec{r} = r_x i + r_y j + r_z k \quad (2)$$

Figura 2-3. Posición de la palanca de cambios



Fuente: Autores

Los valores conocidos son:

$$r = 15.5 \text{ cm}$$

$$r_z = 7 \text{ cm}$$

$$\delta = 70^\circ$$

En la anterior figura se observa la palanca de cambios cuando se ha accionado la marcha, es decir, cuando gira un ángulo de 20° y se ha desplazado al punto A.

$$r_x = r \cos(70^\circ) = 15.5 \cos(70^\circ) = 5.3 \text{ cm}$$

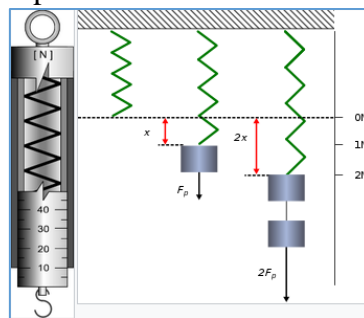
$$r_y = r \sin(70^\circ) = 15.5 \sin(70^\circ) = 14.6 \text{ cm}$$

Por lo tanto la posición de la palanca de cambios en el punto A es:

$$\vec{r} = (5.3 i - 14.6 j + 7k) \text{ cm}$$

3.2.1.2 Cálculo de la fuerza. Para determinar la fuerza se basa en el principio de funcionamiento de un dinamómetro. Un dinamómetro es un instrumento utilizado para medir fuerzas.

Figura 3-3. Principio de funcionamiento de un dinamómetro



Fuente: <https://goo.gl/NFDFUd>

Normalmente, un dinamómetro basa su funcionamiento en un resorte que sigue la Ley de Hooke, siendo las deformaciones del resorte directamente proporcionales a la fuerza aplicada.

La fórmula de la ley de Hooke es:

$$F = kx \quad (3)$$

Donde:

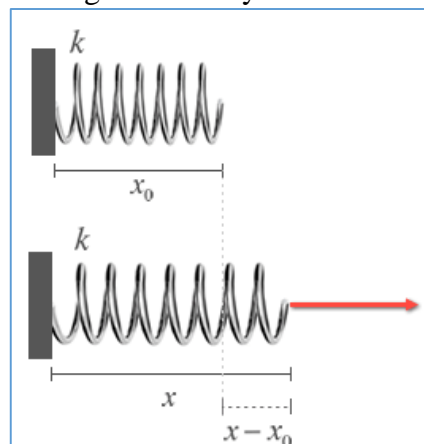
F = Fuerza

k = constante de elasticidad del resorte

x = deformación

La constante de proporcionalidad “k” es específica para cada resorte. Esta constante dependerá no sólo del tipo de material del que está hecho el resorte (acero, aluminio, hierro, etc.) sino del diámetro del alambre e incluso de la distancia entre dos vueltas consecutivas de la hélice que forma el resorte y el diámetro de la misma.

Figura 4-3. Ley de Hooke



Fuente: <https://goo.gl/3wC26J>

Con este antecedente, para determinar la fuerza se sigue el siguiente procedimiento:

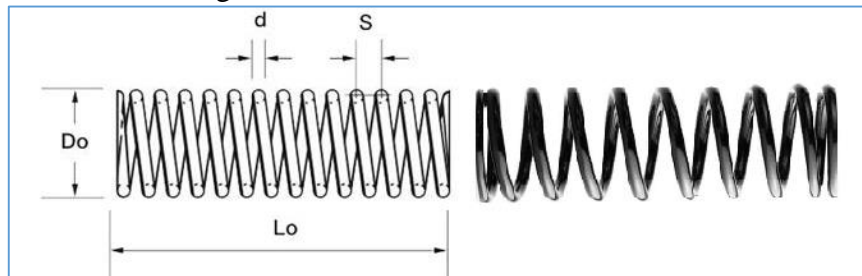
Adquirir un resorte helicoidal metálico.

Determinar la constante de elasticidad del resorte.

Determinar la fuerza requerida para accionar la palanca de cambios.

- **Resorte helicoidal metálico**

Figura 5-3. Resorte helicoidal metálico



Fuente: Autores

$$L_0 = 80 \text{ mm}$$

$$D_o = 15 \text{ mm}$$

$$d = 1 \text{ mm}$$

$$s = 10 \text{ mm}$$

- **Cálculo de la constante de elasticidad del resorte**

Para determinar la constante de elasticidad del resorte se necesitó un juego de pesas y un calibrador.

Figura 6-3. Materiales para determinar el constante de elasticidad



Fuente: Autores

Se parte de la ley de Hooke: $F = kx$

La Fuerza F se sustituirá por el peso P que corresponderá al de una pesa, al colgarse del resorte, la ley de Hooke se expresará así:

$$P = kx \tag{4}$$

$$mg = kx$$

Despejando la constante de elasticidad y obtenemos la siguiente ecuación:

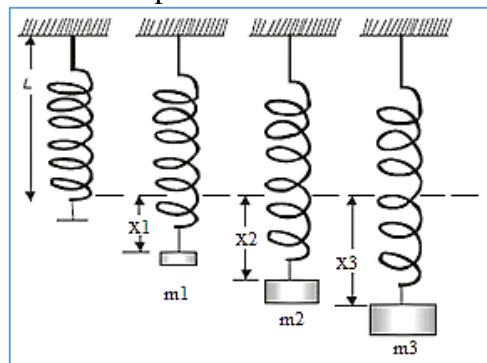
$$k = \frac{mg}{x}$$

El procedimiento para determinar la constante de elasticidad es:

- Colocar el resorte de forma vertical.
- Colgar una pesa de masa m en el extremo libre del resorte.
- Medir la deformación x del resorte con el calibrador.
- Calcular la constante de elasticidad del resorte con la fórmula $k = \frac{mg}{x}$, donde $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Finalmente, repetir el procedimiento las veces que sean necesarias. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 7-3. Procedimiento para determinar la constante de elasticidad



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1-3. Cálculo de la constante de elasticidad del resorte

Mediciones	m (kg)	x (cm)	k=mg/x (N/cm)
1	2	2.6	7.4
2	4	5.2	7.5
3	6	7.8	7.5
4	8	10.6	7.4
5	10	13.2	7.4

Fuente: Autores

La constante de elasticidad del resorte promedio \bar{k} , se obtuvo usando la siguiente fórmula:

$$\bar{k} = \frac{\sum k}{5} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5}{5}$$

$$\bar{k} = \frac{7.4 + 7.5 + 7.5 + 7.4 + 7.4}{5}$$

$$\bar{k} \cong 7.5 \text{ N/cm}$$

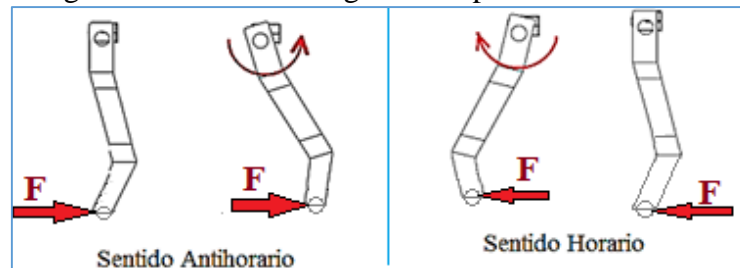
$$\bar{k} \cong 0.76 \text{ kgf/cm}$$

La constante de elasticidad del resorte es 0.76 kgf/cm.

- **Cálculo de la fuerza**

Para realizar un cambio de marcha se gira la palanca de cambios un ángulo aproximado de 20° . El giro puede ser en sentido horario o anti horario, el sentido de giro dependerá si se desea aumentar o disminuir la marcha.

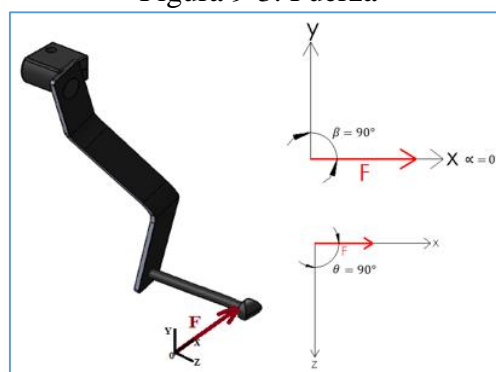
Figura 8-3. Sentidos de giro de la palanca de cambios



Fuente: Autores

Por lo tanto, se va a calcular la fuerza necesaria para hacer girar a la palanca de cambios un ángulo aproximado de 20° .

Figura 9-3. Fuerza



Fuente: Autores

$$\vec{F} = \overline{|F_x|}i + \overline{|F_y|}j + \overline{|F_z|}k$$

$$\vec{F} = F \cos \alpha i + F \cos \beta j + F \cos \theta k$$

$$\vec{F} = F \cos(0^\circ) i + F \cos(90^\circ) j + F \cos(90^\circ) k$$

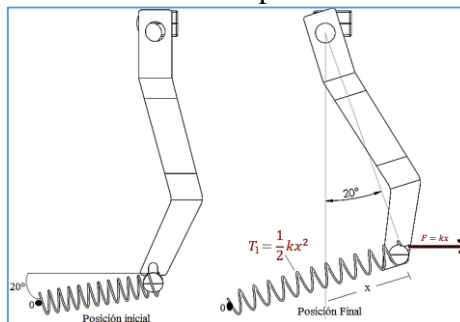
$$\vec{F} = Fi + 0j + 0k$$

$$\vec{F} = Fi$$

Para determinar el módulo de la fuerza F se usa el resorte helicoidal y se sigue el siguiente procedimiento:

- Enganchar el resorte helicoidal en el extremo del pedal de la palanca de cambios.
- Formar un ángulo de 110° entre el resorte helicoidal y el pedal.
- Aplicar la fuerza en el extremo libre del pedal hasta alcanzar un giro de 20° en la palanca de cambios, es decir, hasta accionar el cambio de marcha, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 10-3. Procedimiento para determinar la fuerza



Fuente: Autores

Al desplazar el resorte desde una posición inicial hasta una posición final se está ejerciendo un trabajo. La fórmula para calcular el trabajo que se ejerce sobre el resorte es:

$$T_1 = \frac{1}{2} kx^2 \quad (5)$$

Donde:

T = Trabajo,

k = constante de elasticidad

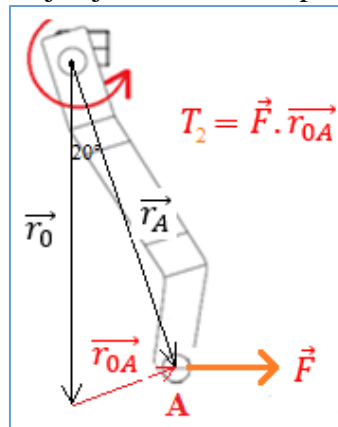
x = deformación; por lo tanto:

$$T_1 = \frac{1}{2} (0.76)x^2$$

$$T_1 = 0.38 x^2$$

Además la fuerza aplicada desplaza la palanca de cambios desde una posición inicial hasta el punto A, es decir, la fuerza F ejerce un trabajo sobre la palanca de cambios, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 11-3. Trabajo ejercido sobre la palanca de cambios



Fuente: Autores

La fórmula para calcular el trabajo ejercido sobre la palanca de cambios es: $T_2 = \vec{F} \cdot \vec{r}_{0A}$

Donde:

$$\vec{F} = Fi$$

$$\vec{r}_0 = (0i - 15.5j + 7k)cm$$

$$\vec{r}_A = (5.3i - 14.6j + 7k)cm$$

La fórmula para calcular el vector posición \vec{r}_{0A} es:

$$\vec{r}_{0A} = \vec{r}_A - \vec{r}_0 \tag{6}$$

Por lo tanto:

$$\vec{r}_{0A} = (5.3i - 14.6j + 7k) - (0i - 15.5j + 7k)$$

$$\vec{r}_{0A} = (5.3 - 0)i + (-14.6 + 15.5)j + (7 - 7)k$$

$$\vec{r}_{0A} = (5.3i + 0.9j + 0k)cm$$

Como el trabajo es igual al producto punto entre la fuerza y la posición.

Entonces:

$$T_2 = \vec{F} \cdot \vec{r}_{0A}$$

$$T_2 = (Fi + 0j + 0k) \cdot (5.3i + 0.9j + 0k)$$

$$T_2 = (F, 0, 0) \cdot (5.3, 0.9, 0)$$

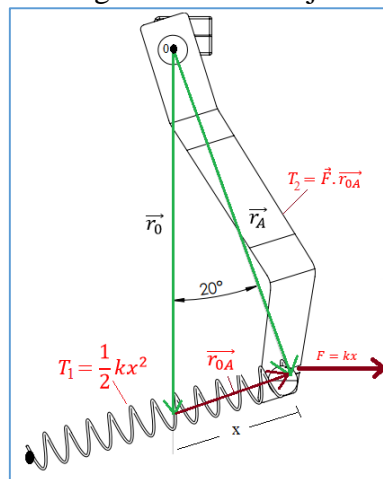
$$T_2 = (F, 0, 0) \cdot (5.3, 0.9, 0)$$

$$T_2 = (F \times 5.3) + (0 \times 0) + (0 \times 0)$$

$$T_2 = 5.3F$$

En la siguiente figura se puede observar el trabajo T_1 y el trabajo T_2 .

Figura 12-3. Trabajo



Fuente: Autores

En conclusión la fuerza F genera dos trabajos; el T_1 que ejerce sobre el resorte y el T_2 que ejerce sobre la palanca de cambios, por lo tanto $T_1 = T_2$, ya que ambos son generados por la misma fuerza.

Además, como la fuerza “ F ” se aplica en un resorte, se cumple la ley de Hooke $F = kx$, si en esta ecuación despejamos “ x ” nos da como resultado: $x = \frac{F}{k}$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned}T_1 &= T_2 \\0.38 x^2 &= 5.3 F \\0.38 \left(\frac{F}{k}\right)^2 &= 5.3 F \\0.38 \left(\frac{F}{0.76}\right)^2 &= 5.3 F \\0.66F^2 &= 5.3 F \\0.66F^2 - 5.3 F &= 0 \\F(0.66F - 5.3) &= 0 \\0.66F - 5.3 &= 0 \\0.66F &= 5.3 \\F &= \frac{5.3}{0.66} \\F &= 8.3 \text{ Kgf}\end{aligned}$$

- **Cálculo del momento de fuerza o torque**

El torque es igual al producto cruz entre la posición y la fuerza:

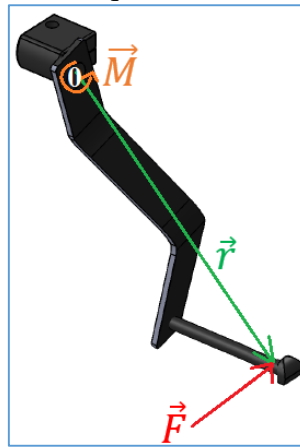
$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Donde:

$$\begin{aligned}\vec{r} &= (5.3 i - 14.6 j + 7k) \text{ cm} \\ \vec{F} &= (8.3 i + 0 j + 0 k) \text{ kgf} \\ \vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} &= \begin{vmatrix} i & j & k \\ 5.3 & -14.6 & 7 \\ 8.3 & 0 & 0 \end{vmatrix} \\ \vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} &= \begin{vmatrix} -14.6 & 7 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} i - \begin{vmatrix} 5.3 & 7 \\ 8.3 & 0 \end{vmatrix} j + \begin{vmatrix} 5.3 & -14.6 \\ 8.3 & 0 \end{vmatrix} k \\ \vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} &= [(-14.6)(0) - (0)(7)]i - [(5.3)(0) - (8.3)(7)]j \\ &\quad + [(5.3)(0) - (8.3)(-14.6)]k \\ \vec{M} &= (0i + 58.1j + 121.18k) \text{ Kgf} \\ M &= \sqrt{(0)^2 + (58.1)^2 + (121.18)^2}\end{aligned}$$

$$M = 134.38 \text{ Kgf} - \text{cm}$$

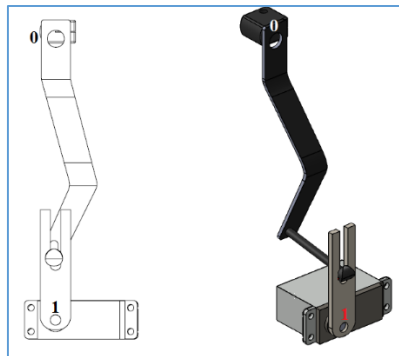
Figura 13-3. Torque o momento de fuerza



Fuente: Autores

Como se puede observar, el torque mínimo que se requiere para girar la palanca de cambios desde el punto 0 es muy alto, razón por la cual para el diseño se ubicará el servomotor en el punto 1 con el fin de reducir el torque requerido, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 14-3. Ubicación del servomotor



Fuente: Autores

El momento de fuerza requerido para girar la palanca de cambios desde el punto 1 es:

$$\vec{M}_1 = \vec{r}_1 \times \vec{F}$$

Donde:

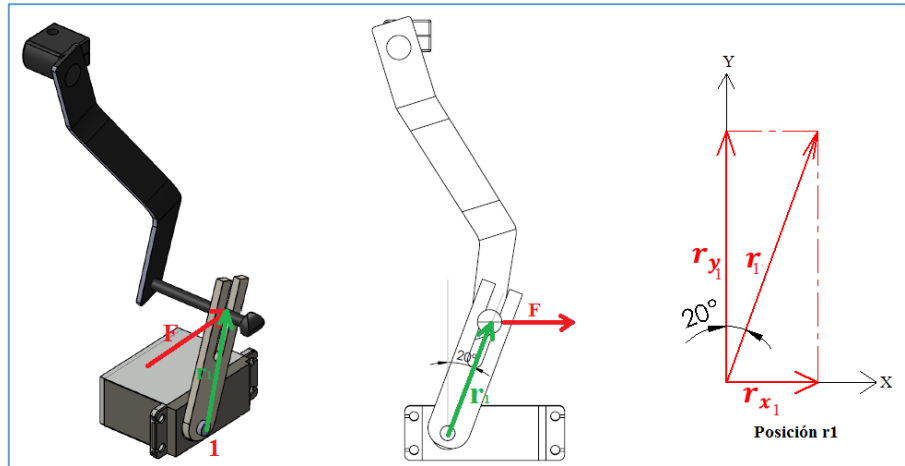
$$\vec{F} = (8.3 i + 0 j + 0 k) \text{ kgf}$$

$$r_1 = 5.5 \text{ cm}$$

$$r_z = 0 \text{ cm}$$

$$\delta = 20^\circ$$

Figura 15-3. Momento de fuerza, M_1



Fuente: Autores

$$\vec{r} = (r_x i + r_y j + r_z k)$$

$$r_x = r \sin(20^\circ) = 5.5 \sin(20^\circ) = 1.9 \text{ cm}$$

$$r_y = r \cos(20^\circ) = 5.5 \cos(20^\circ) = 5.2 \text{ cm}$$

$$\vec{r}_1 = (1.9 i + 5.2 j + 0 k) \text{ cm}$$

Por lo tanto:

$$\vec{M}_1 = \vec{r}_1 \times \vec{F} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1.9 & 5.2 & 0 \\ 8.3 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\vec{M}_1 = \vec{r}_1 \times \vec{F} = \begin{vmatrix} 5.2 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} i - \begin{vmatrix} 1.9 & 0 \\ 8.3 & 0 \end{vmatrix} j + \begin{vmatrix} 1.9 & 5.2 \\ 8.3 & 0 \end{vmatrix} k$$

$$\vec{M}_1 = \vec{r}_1 \times \vec{F} = [(5.2)(0) - (0)(0)]i - [(1.9)(0) - (8.3)(0)]j + [(1.9)(0) - (8.3)(5.2)]k$$

$$\vec{M}_1 = (0 i + 0 j - 42.9 k) \text{ Kgf}$$

$$M_1 = \sqrt{(0)^2 + (0)^2 + (-42.9)^2}$$

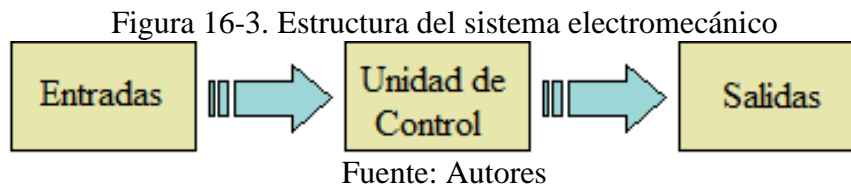
$$\overline{M}_1 = 42.9 \text{ Kgf} - \text{cm}$$

El torque mínimo que debe poseer el servomotor es de $42.9 \text{ Kgf} - \text{cm}$.

3.3 Diseño del sistema electro-mecánico

Para el diseño se ha considerado la siguiente estructura del sistema electromecánico:

- Entradas
- Unidad de Control
- Salidas



3.3.1 *Componentes del sistema electro-mecánico.* En la siguiente tabla se puede observar los componentes que conforman el sistema electromecánico para la selección de cambios de marcha.

Tabla 2-3. Componentes del sistema electromecánico

Tipo de elemento	Elemento	Parámetro de selección
Entradas	3 Sensores de Contacto (fines de carrera) KW11-3Z Switch carbono tipo avión con led	Resistencia y facilidad de accionamiento Enclave de energización
Unidad de Control	Arduino	Memoria y tamaño adecuado
Salidas	Pantalla LCD 1602 Controlador LCD I2C Servomotor	Fácil visualización que evite la distracción Fácil control de LCD Fuerza necesaria para el accionamiento
Elementos Auxiliares	Conductores Eléctricos Fuente regulada de voltaje Soporte para Arduino Uno Soporte para pantalla LCD	Resistencia ante esfuerzos Fuente con amperaje necesaria para el correcto funcionamiento Protección duradera y facilidad de montaje

Fuente: Autores

3.3.2 *Descripción de los elementos de entradas del sistema electro-mecánico.* Los componentes de entrada del sistema electromecánico lo conforman tres sensores de

contacto (finales de carrera) de la serie KW11-3Z y un Switch carbono tipo avión con led.

3.3.2.1 *Sensores de contacto.* Los sensores de contacto son dispositivos de entrada que tienen el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito.

Internamente contiene interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

Dicho dispositivo al ser accionado va a enviar una señal hacia el dispositivo de control para ser procesada y accionar el cambio de marcha, dicho dispositivo fue seleccionado por su resistencia y facilidad de accionamiento.

Figura 17-3. Sensor de contacto KW11-3Z



Fuente: Autores

Gracias a las ventajas que ofrece el sensor de contacto KW11-3Z para la construcción del sistema electromecánico las cuales son:

- Facilidad en la instalación
- Robustez del sistema
- Es insensible a estados transitorios
- Trabaja a tensiones altas
- Debido a la inexistencia de imanes es inmune a la electricidad estática.

3.3.2.2 *Switch carbono tipo avión con led.* El switch carbono tipo avión con led es un interruptor o dispositivo que abre o cierra el paso de corriente eléctrica en un circuito, en este caso, en el sistema electromecánico de selección de marcha. Consiste en dos contactos y el actuante. Los contactos, normalmente separados, se unen mediante un

actuante para permitir que la corriente circule. El actuante es la parte móvil que en una de sus posiciones hace presión sobre los contactos para mantenerlos unidos.

Dicho elemento fue seleccionado para la energización del sistema para su activación, las características del mismo indica su activación con la ayuda de led indicador.

Figura 18-3. Switch carbono tipo avión con led



Fuente: <https://es.aliexpress.com>

Las ventajas que ofrece el switch carbono tipo avión con led para la construcción del sistema electromecánico son:

- Facilidad en la instalación
- Permite el control del paso de la corriente eléctrica al sistema electro-mecánico.
- El led encendido indica que el sistema electromecánico esta energizado.

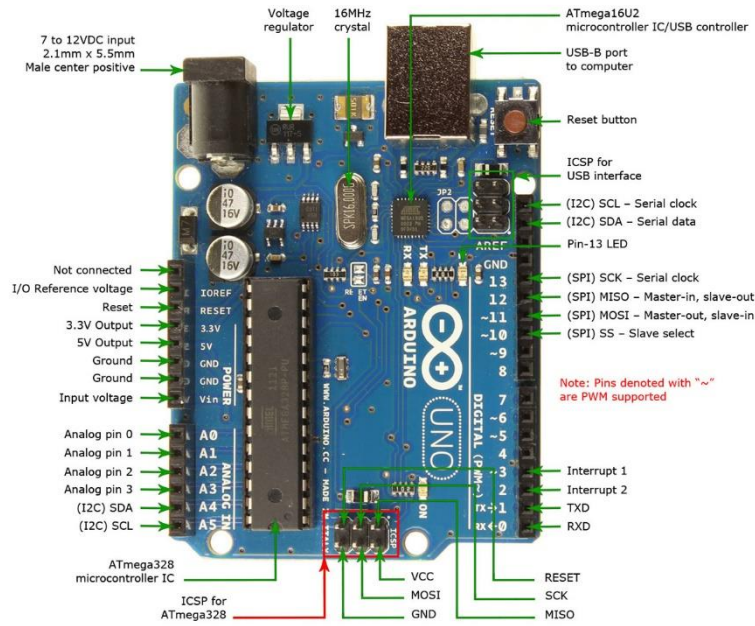
3.3.3 *Descripción de los elementos de la unidad de control del sistema electro-mecánico.* La unidad de control es el cerebro o unidad de procesado central del sistema electromecánico. Es el dispositivo que se encargará de procesar las señales enviadas por el sensor de contacto y actuar sobre las salidas del sistema. La unidad de control del sistema electro-mecánico lo conforma el microcontrolador Arduino.

La tarjeta Arduino fue la mejor opción, ya que, es un dispositivo programable amigable con el usuario el cual puede controlar diferentes elementos con facilidad basada en el ATmega32. Cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se podrán utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas.

Un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, un botón de reinicio y 32k de memoria Flash, se seleccionó el Arduino uno por la memoria y características antes mencionadas.(Arduino, 2017)

La placa Arduino Uno consta de los siguientes pines:

Figura 19-3. Pines Arduino UNO



Fuente: <https://goo.gl/Q2y46M>

Las ventajas que ofrece Arduino UNO para la construcción del sistema electromecánico son:

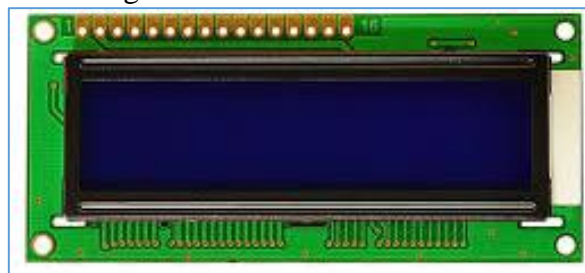
- Simplifica. Arduino simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores.
- Bajos costos. Las placas Arduino son más accesibles comparadas con otras plataformas de microcontroladores.
- Multi-Plataforma. El software de Arduino funciona en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux; mientras que la mayoría de otros entornos para microcontroladores están únicamente limitados a Windows.
- Entorno de programación simple y directo. El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes y flexible para los usuarios avanzados.

3.3.4 *Descripción de los elementos de salidas del sistema electro-mecánico.* Los componentes de salida del sistema electromecánico lo conforman: una pantalla LCD 1602, un Controlador LCD I2C y un Servomotor.

3.3.4.1 *Pantalla LCD 1602.* Es un dispositivo diseñado para mostrar información en forma gráfica. LCD significa Liquid Crystal Display (Display de cristal líquido). La mayoría de las pantallas LCD vienen unidas a una placa de circuito y poseen pines de entrada/salida de datos.

La pantalla LCD 1602 del sistema electromecánico mostrará los cambios marcha del vehículo. Esta pantalla fue seleccionada por su tamaño, teniendo en cuenta que dicho dispositivo no debe distraer al conductor, pero para su monitoreo es de fácil visualización

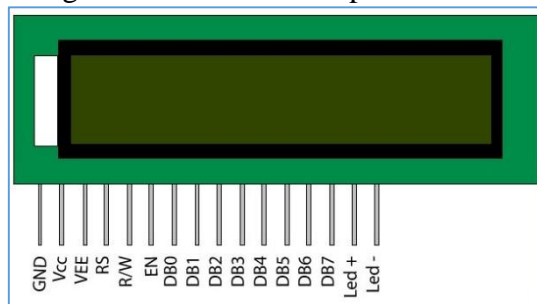
Figura 20-3. Pantalla LCD 1602



Fuente: Autores

Estas pantallas constan de 16 pines. De izquierda a derecha, sus usos son los siguientes:

Figura 21-3. Pines de la pantalla LCD



Fuente: Autores

Pin 1 – VSS o GND

Pin 2 – VDD o alimentación (+5V)

Pin 3 – Voltaje de contraste. Se conecta a un potenciómetro.

Pin 4 – Selección de registro. Aquí se selecciona el dispositivo para su uso.

Pin 5 – Lectura/Escritura. Dependiendo del estado (HIGH o LOW), se podrá escribir o leer datos en el LCD

Pin 6 – Enable. Es el pin que habilita o deshabilita el LCD.

Pin 7 hasta Pin 14 – Son los pines de datos por donde se envía o recibe información.

Pin 15 – El ánodo del LED de iluminación de fondo (+5v).

Pin 16 – El cátodo del LED de iluminación de fondo (GND).

Las ventajas que ofrece la pantalla LCD 1602 para la construcción del sistema electro-mecánico son:

Tamaño: Tiene la capacidad de tener al mismo tiempo 16 caracteres de manera horizontal en dos renglones (cada uno).

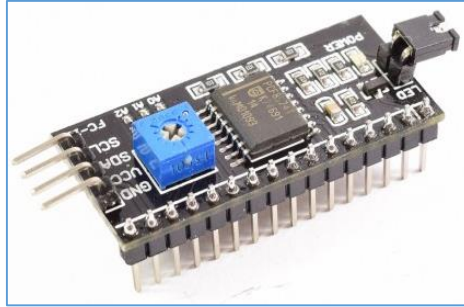
Brillo: La luminosidad de la pantalla es importante, ya que según la aplicación en la que se encuentre esta, requerirá más luz para poder apreciarse, o viceversa.

Pero la gran ventaja es que gracias a la pantalla LCD, podremos mostrar información de datos como temperatura, humedad, presión o voltaje. En nuestro caso se visualizará los cambios de marcha.

3.3.4.2 Controlador LCD I2C. El controlador de LCD I2C es un dispositivo que nos permite controlar una pantalla LCD a través del bus I2C, usando únicamente dos cables.

I2C es un bus de comunicaciones en serie que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y por otra la señal de reloj. Internamente el controlador LCD I2C es una variación del extensor de entradas y salidas digitales PCF8574. Incluso incorporan un potenciómetro para regular el backlight del LCD.

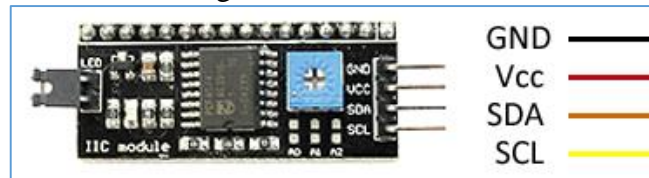
Figura 22-3. Controlador LCD I2C



Fuente: Autores

Los pines del controlador LCD I2C son los siguientes:

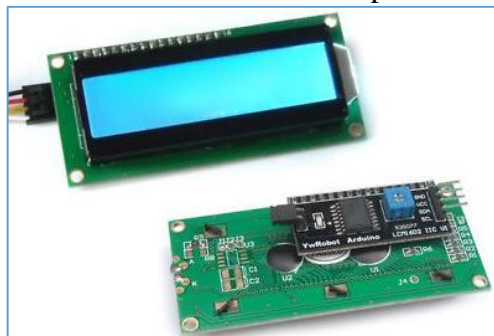
Figura 23-3. Pines I2C



Fuente: Autores

La ventaja que ofrece el Controlador LCD I2C para la construcción del sistema electromecánico se describe a continuación. Usar la pantalla LCD directamente desde Arduino requería emplear una gran cantidad de pines de Arduino, lo que supone un enorme desperdicio de recursos, que deberían estar ocupados en cosas mucho más importantes que encender un simple Display. Una alternativa recomendable es usar un controlador que permita acceder al LCD a través del bus I2C. Este controlador reduce la cantidad de cables necesarios a dos. El controlador I2C tiene los pines ordenados para solo conectar al LCD, esto lo podemos hacer a través de un protoboard o soldando directamente al LCD.

Figura 24-3. I2C conectado a la pantalla LCD



Fuente: Autores

3.3.4.3 Servomotor. Es un dispositivo que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

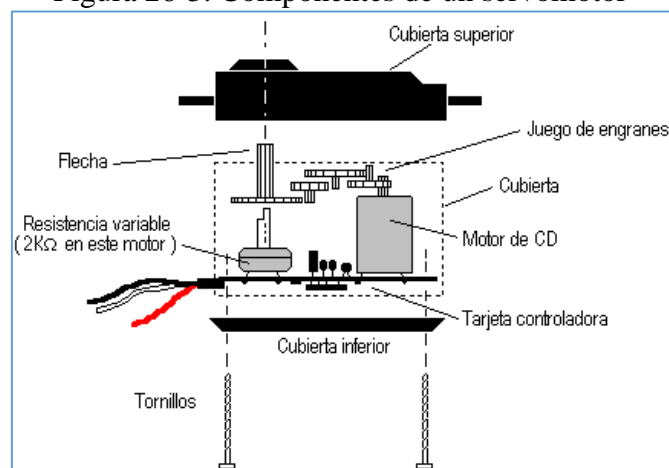
Figura 25-3. Servomotor



Fuente: Autores

Los servomotores son dispositivos electro-mecánicos que consisten en un motor eléctrico, un juego de engranes y una tarjeta de control, todo confinado dentro de una carcasa de plástico. La característica principal de estos motores es que la gran mayoría no están hechos para dar rotaciones continuas -algunos sí lo hacen pero se hablarán de ellos más adelante- ya que principalmente son dispositivos de posicionamiento en un intervalo de operación.

Figura 26-3. Componentes de un servomotor



Fuente: <https://goo.gl/oRkUGu>

Las ventajas que ofrece el servomotor para la construcción del sistema electromecánico son:

- Tienen un ciclo de vida prolongado.

- Altos torques.
- Bajas corrientes de arranque.
- Bajo costo de operación y mantenimiento.
- Versatilidad en tamaño.
- Potencia proporcional para cargas mecánicas.
- No consume mucha energía.

- **Selección del servomotor**

En el mercado existe una gran variedad de servomotores; para el diseño del sistema electro-mecánico se realiza la selección del servomotor mediante la elección de la alternativa más adecuada.

La selección del servomotor más adecuado se fundamenta en la formulación de alternativas y criterios de valorización en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas.

- **Alternativas para la selección del servomotor**

En primer lugar, por lo establecido en el apartado “*Variables de diseño, torque o momento de fuerza*” el servomotor debe generar un torque mínimo de 42.9 Kgf-cm. Con este antecedente, se han establecido las siguientes alternativas:

Tabla 3-3. Alternativas de selección, servomotores

Servomotores	Alternativas
Servo DW845WP	A
Servo HS7980TH	B
Servo D980TW	C

Fuente: Autores

Figura 27-3. Alternativas de selección, servomotores



Fuente: <https://www.servocity.com>

– **Criterios de valorización**

Torque: Es la fuerza que genera el servomotor para hacer girar la palanca de cambios.

Tabla 4-3. Criterios de Valorización, torque

Alternativas	Servomotores	Torque
A	Servo DW845WP	50 Kgf.cm
B	Servo HS7980TH	44 Kgf.cm
C	Servo D980TW	44 Kgf.cm

Fuente: www.servocity.com

Velocidad: Es el tiempo que tarda el servomotor en cambiar de una posición a otra. La posición del servo se determina en grados (°).

Tabla 5-3. Criterios de valorización, velocidad

Alternativas	Servomotores	Velocidad
A	Servo DW845WP	0,17 seg / 60 °
B	Servo HS7980TH	0,17 seg / 60 °
C	Servo D980TW	0,17 seg / 60 °

Fuente: www.servocity.com

Rotación: Es la capacidad que posee el servomotor para cambiar su posición. Puede ser de: 0° a 90°, 0° a 18° o 0° a 360°.

Tabla 6-3. Criterios de valorización, rotación

Alternativas	Servomotores	Rotación
A	Servo DW845WP	202.5°
B	Servo HS7980TH	198.5°
C	Servo D980TW	120.5°

Fuente: www.servocity.com

Costo: Es el precio de compra, incluyendo todos los honorarios, que serán necesarios para adquirir el servomotor.

Tabla 7-3. Criterios de valorización, costo

Alternativas	Servomotores	Costo (\$)
A	Servo DW845WP	180,00
B	Servo HS7980TH	205,00
C	Servo D980TW	190,00

Fuente: www.servocity.com

– **Ponderación de los criterios de valoración**

La evaluación de los criterios de valoración para cada alternativa se realiza por medio de la siguiente tabla de ponderación.

Tabla 8-3. Tabla de ponderación para criterios de valorización

Niveles	Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Excelente
Ponderación	1	2	3	4	5

Fuente: Autores

– **Selección de la alternativa más adecuada**

Tabla 9-3. Selección del servo

		Criterios de valorización				Ponderación
		Torque	Velocidad	Rotación	Costo	
Alternati	A	5	5	5	4	19
	B	4	5	4	2	15
	C	4	5	3	3	15

Fuente: Autores

La alternativa A tiene el mayor valor en la ponderación de las alternativas por lo tanto el servomotor que formará parte del sistema electromecánico para la selección de marchas es el Servo DW845WP.

Figura 28-3. Servo DW845WP



Fuente: <https://goo.gl/YZ0Egf>

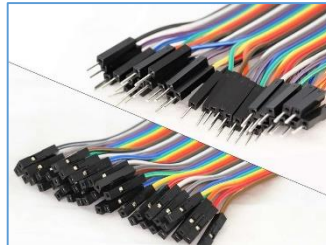
3.3.5 Descripción de los elementos auxiliares. Los elementos auxiliares del sistema electromecánico lo conforman: los conductores eléctricos y una fuente reguladora.

3.3.5.1 Conductores eléctricos Los conductores eléctricos son hilos de metal (cobre o aluminio) que se utilizan para conducir la corriente eléctrica. Para el sistema

electromecánico se utilizarán cables de un diámetro de mínimo 0,5 mm, que suele ser el grosor de los terminales de los componentes más habituales, que correspondería a lo que los americanos llamarían AWG (del inglés "American Wire Gauge", o galga americana para cables) 24 (a mayor AWG menor diámetro). Justo el diámetro de los pines de las regletas de conexión. (soloarduino, 2015)

Tomando en cuenta lo antes mencionado se seleccionó cables awg 24 para la conexión del sistema, por el motivo si se adquiere más anchas pueden dañar los pines y si se adquiere muy delgados no pueden hacer un buen contacto, de característica solido o unifilar, ya que es más resistente.

Figura 29-3. Elementos auxiliares, cables

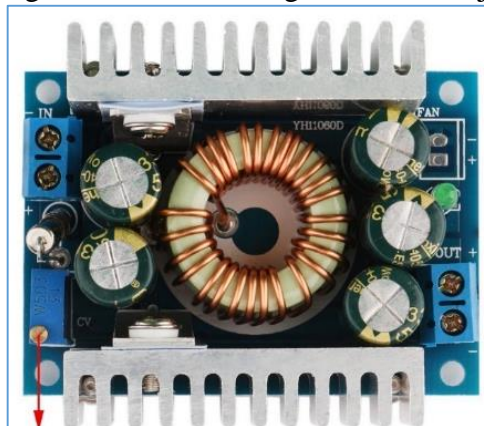


Fuente: Autores

3.3.5.2 Fuente regulada de voltaje. Una fuente regulada es aquella que permite ajustar voltajes en un determinado rango según las necesidades del sistema.

Para el sistema electromecánico se utilizará una fuente regulada de voltaje 8A / 100W 12A Max DC 5-40V a 1.2-36V.

Figura 30-3. Fuente regulada de voltaje



Fuente: Autores

3.3.5.3 *Soporte para Arduino Uno.* El soporte para Arduino uno es una carcasa o armazón que protege y ofrece mayor seguridad al circuito del Arduino uno.

El diseño del soporte se imprimió por medio de una impresora 3D, en PLA el cual es resistente, maleable y amigable con el medio ambiente y el diseño se lo realizó para la mayor protección posible y accesibilidad,

Figura 31-3. Soporte para Arduino uno



Fuente: Autores

3.3.5.4 *Soporte para pantalla LCD.* El soporte para pantalla LCD es una carcasa o armazón que protege y da estabilidad a la pantalla LCD. El diseño del soporte se imprimió por medio de una impresora 3D.

Figura 32-3. Soporte para pantalla LCD

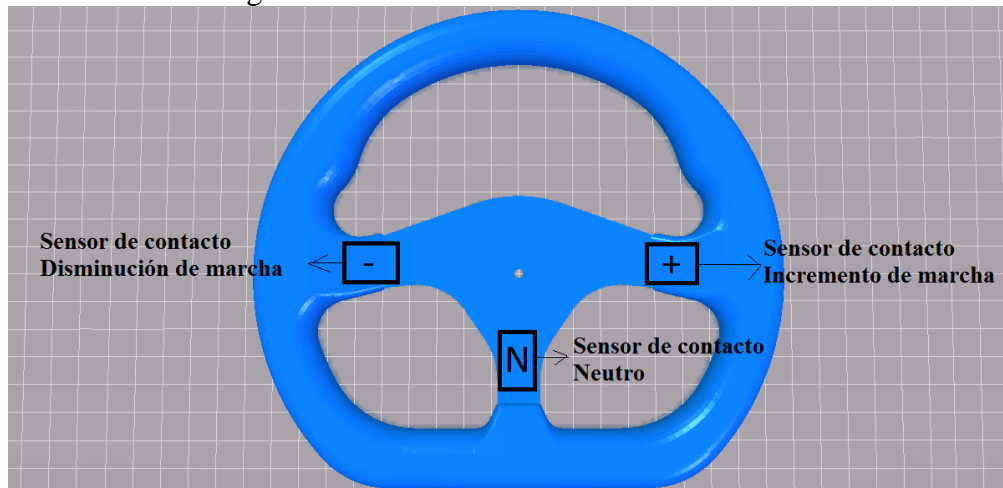


Fuente: Autores

3.3.6 *Diseño e identificación de lugares de montaje del sistema electro-mecánico.* Con el fin de facilitar el acceso al mando de control de marcha y mejorar la ergonomía del vehículo, se ubicó los elementos de la siguiente manera

3.3.6.1 Elementos de entrada. Los elementos de entrada para su fácil accionamiento son ubicados en partes accesibles; el switch se colocará cerca del panel de control y los sensores de contacto se ubicaran en el volante como se muestra en la siguiente figura

Figura 33-3. Ubicación sensores de contacto.

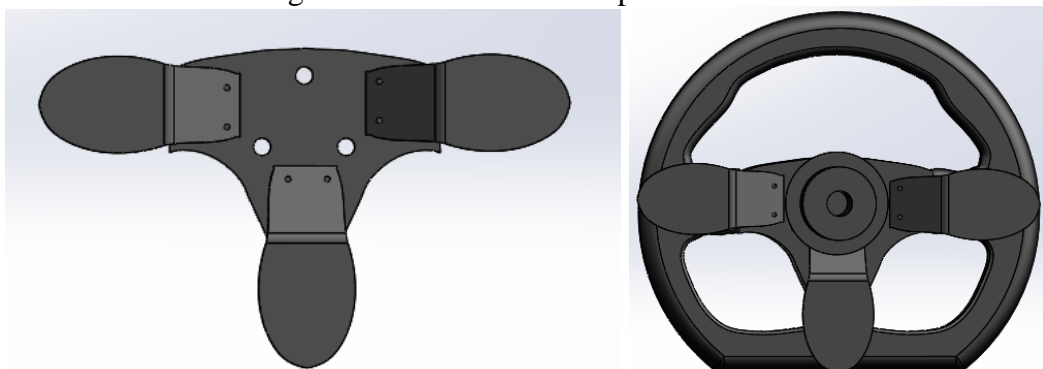


Fuente: Autores

Para ubicar los sensores de contacto al volante se diseña un acople desmontable basándose en ejemplos de volantes de autos de carreras.

En la figura muestra el diseño elaborado y el acople en el volante tomando en cuenta que no se altere el diseño y funcionamiento principal de mismo. Los planos del acople se encuentran en el anexo A

Figura 34-3. Diseño del acople al volante



Fuente: Autores

El diseño consta de 3 elementos en forma de levas para al momento de aplastarlos accione el sensor de contacto deseado, dicho acople se monta en la parte posterior del volante.

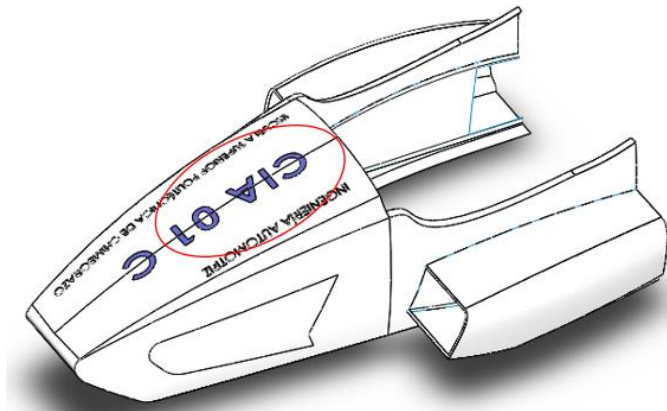
Figura 35-3. Ensamble del diseño



Fuente: Autores

3.3.6.2 *Unidad de control.* La unidad de control se ubicará en un lugar de la carrocería en el cual no incomode al conductor y la vez de fácil acceso, como se muestra en la figura se puede colocar en la parte interna del área seleccionada.

Figura 36-3. Área factible para la ubicación de la unidad de control



Fuente: Autores

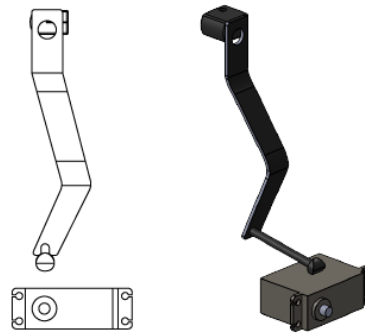
Para el adecuado funcionamiento se elaboró una programación tomado en cuenta los elementos a controlar como es el servomotor y la pantalla LCD; como parámetro para la programación también se toma en cuenta que se debe guardar en la memoria interna del Arduino denominada EPROM. La programación se encuentra en el anexo B

3.3.6.3 *Elementos de salida.*

- **El servomotor**

Se ubica debajo de la palanca de cambios con el fin de reducir el torque requerido para girar la palanca como fue analizado anteriormente.

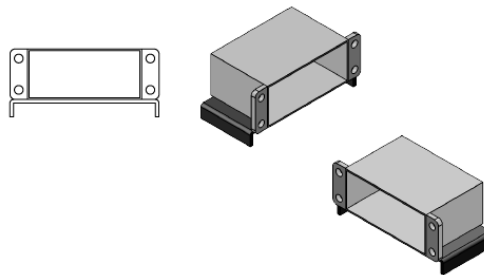
Figura 37-3. Ubicación del servomotor.



Fuente: Autores

Para el apoyo del servomotor se diseña una base en la cual se posicionara y sujetara a la estructura.

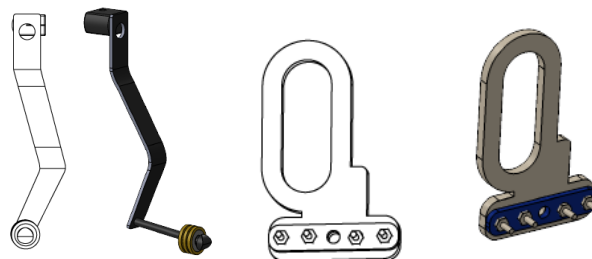
Figura 38-3. Diseño de la base



Fuente: Autores

Al diseño del acople del servomotor hacia la palanca de cambio de marcha se lo realizó con rodamientos para su fácil movimiento y de forma cerrada como se indica en la figura para eliminar el riesgo del desacople.

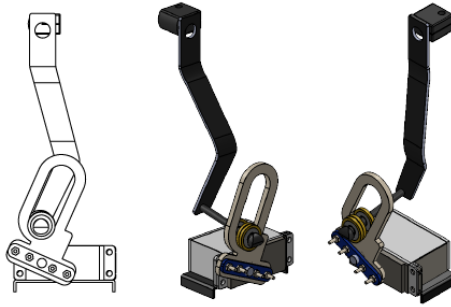
Figura 39-3. Acople del servomotor



Fuente: Autores

En la figura siguiente se indica el ensamble de la palanca con el servo

Figura 40-3. Ensamble del sistema



Fuente: Autores

- **La pantalla LCD**

Con la ayuda del soporte de la pantalla lcd se ubicara en el tablero de mando analizando su fácil visualización y tomando en cuenta que no distraiga al conductor.

En la imagen se muestra el tablero de control en el cual se debe identificar el lugar donde será ubicado con las condiciones antes mencionadas.

Figura 41-3. Área para ubicar el LCD



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO DE SELECCIÓN DE CAMBIOS DE MARCHA

4.1 Unidad de control del sistema electro-mecánico

La unidad de control del sistema electro-mecánico la constituye un Arduino uno, el cual, es el encargado de procesar las siguientes órdenes de salida:

Reducir la marcha de cambio: La marcha del vehículo se reduce a su inmediato inferior, pasa de 6-5, 5-4, 4-3, 3-2, 2-1, 1-N.

Aumentar la marcha de cambio: La marcha del vehículo se incrementa a su inmediato superior, pasa de N-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6.

Neutro: La marcha del vehículo regresa a neutro, sin importar en la marcha que se encuentre.

Para lograr que el Arduino procese las órdenes de salida mencionadas es necesario cargar la programación de control para el sistema electro-mecánico.

4.2 Conexión de las entradas a la unidad de control

El sistema electro-mecánico para selección de cambios de marcha está conformado por tres sensores de contacto (S1, S2 y S3), la función principal de estos sensores es proporcionar una señal de entrada (0 y 1) al Arduino para que este pueda determinar la orden de salida correspondiente.

Cuando los sensores envían una señal de entrada igual a 0, el Arduino no ejecuta ninguna orden de salida. En cambio, cuando envían una señal de entrada igual a 1, el Arduino ejecuta una orden de salida de acuerdo a la función de cada sensor de contacto.

A continuación se describe la función de los sensores de contacto:

Cuando se acciona el sensor de contacto “S1”, el Arduino ejecuta la orden de salida “aumentar la marcha de cambio”.

Cuando se acciona el sensor de contacto “S2”, el Arduino ejecuta la orden de salida “reducir la marcha de cambio”.

Cuando se acciona el sensor de contacto “S3”, el Arduino ejecuta la orden de salida de “neutro”.

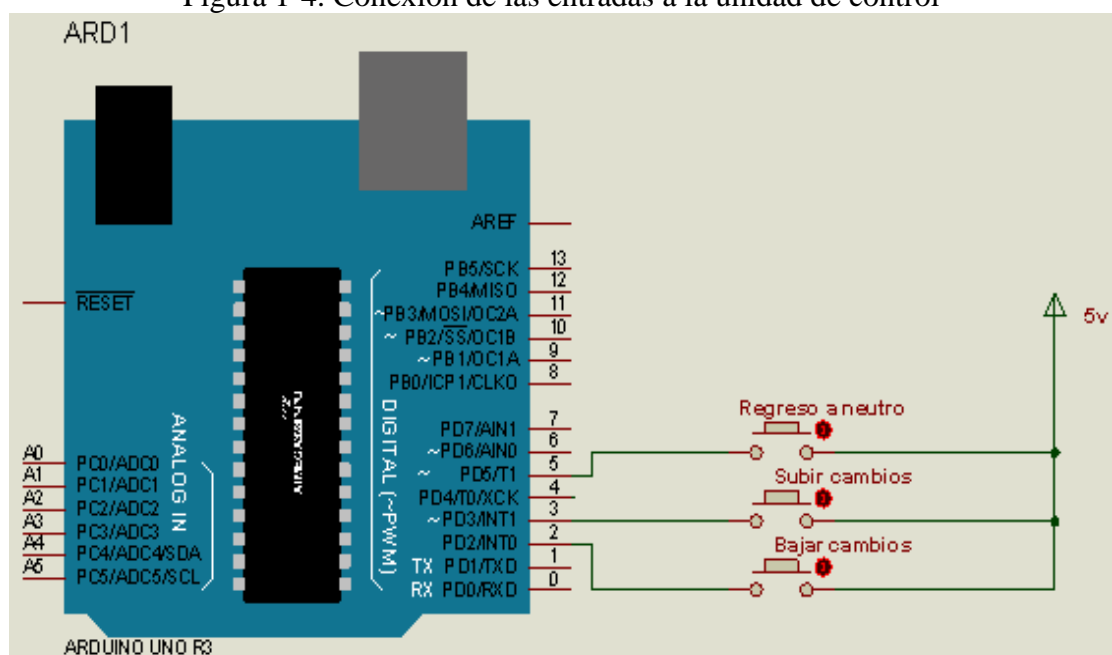
Los sensores de contacto S1, S2 y S3 se conectan a los siguientes pines del Arduino:

- El S1 al pin PD2.
- El S2 al pin PD3.
- El S3 al pin PD5.

Nota: Los sensores de contacto se energizan en la fuente de 5V que proporciona el Arduino.

A continuación se muestra el diagrama de conexión de los sensores de contacto al Arduino:

Figura 1-4. Conexión de las entradas a la unidad de control



Fuente: Autores

4.3 Conexión de las salidas a la unidad de control

El sistema electro-mecánico para selección de cambios de marcha está conformado por un servomotor y una pantalla LCD con controlador I2C.

Estos componentes ejecutan las órdenes de salida enviadas por el Arduino al accionar los sensores de contacto.

A continuación se describe el comportamiento de los elementos de salida:

- Cuando el Arduino ejecuta la orden de salida “*reducir la marcha de cambio*”, el servomotor gira la palanca de cambios en sentido horario para accionar la marcha y regresa la palanca de cambios a su posición inicial. Además, en la pantalla LCD se visualiza la marcha en la que se encuentra el vehículo.
- Cuando el Arduino ejecuta la orden de salida “*aumentar la marcha de cambio*”, el servomotor gira la palanca de cambios en sentido anti horario para accionar la marcha y regresa la palanca de cambios a su posición inicial. Además, en la pantalla LCD se visualiza la marcha en la que se encuentra el vehículo.
- Cuando el Arduino ejecuta la orden de salida “*neutro*”; en primer lugar el programa detecta la marcha actual en la que se encuentra el vehículo y en función de ello, por medio del servomotor, hace girar la palanca de cambios en sentido horario y la regresa a su posición inicial las veces que sean necesarias hasta alcanzar el neutro.

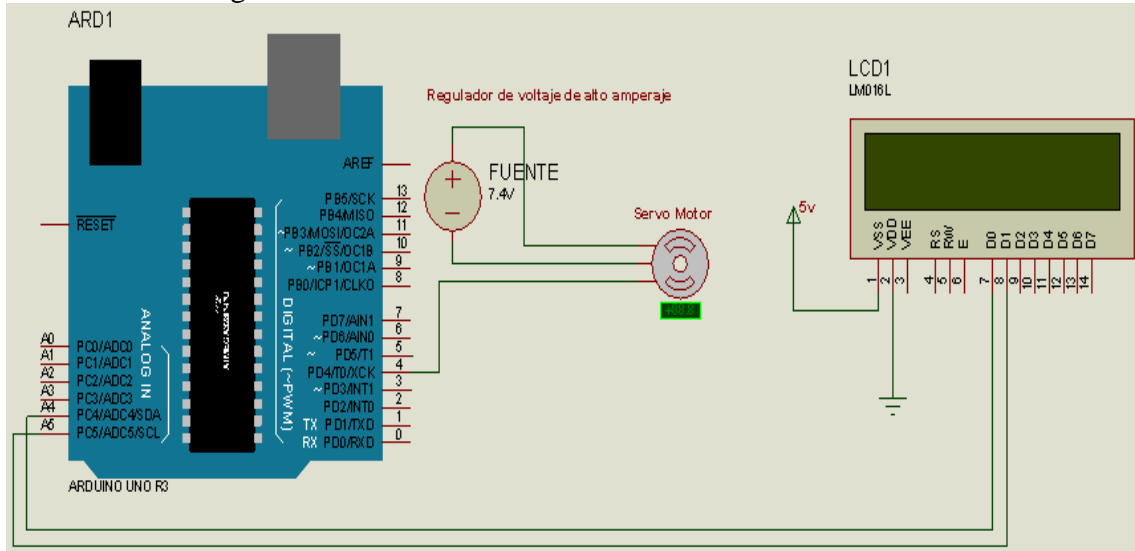
Las salidas del sistema se conectan a los siguientes pines del Arduino:

- El servo se conecta al pin PD4.
- El LCD se conecta al Arduino por medio del controlador I2C así:
 - El VCC del I2C se conecta al pin VCC del Arduino
 - El GND del I2C se conecta al pin GND del Arduino
 - El SDA del I2C se conecta al SDA del Arduino
 - El SCL del I2C se conecta al SCL del Arduino

Nota: El servomotor se energiza en la fuente reguladora de voltaje a 7.4 V, el LCD se energiza a 5V proporcionado del Arduino.

A continuación se muestra el diagrama de conexión del servo y del LCD al Arduino:

Figura 2-4. Conexión de las salidas a la unidad de control



Fuente: Autores

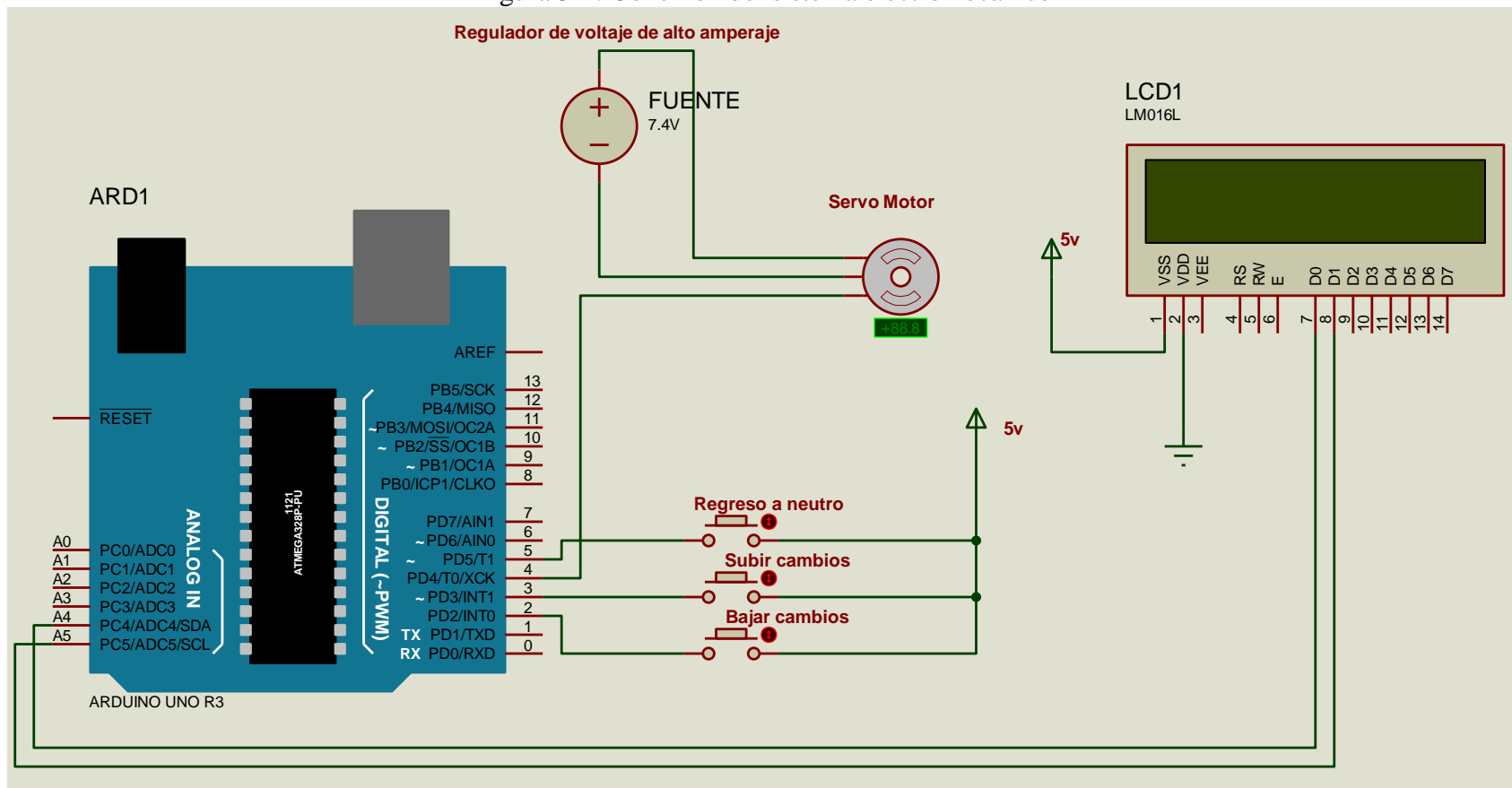
En definitiva el funcionamiento del sistema electromecánico, se resume de la siguiente manera:

- Al accionar el sensor de contacto *S1*, el Arduino ejecuta la orden de salida *reducir la marcha de cambio*, el servo gira la palanca de cambios en sentido horario y la regresa a la posición inicial, el LCD muestra la marcha en la que se encuentra el vehículo.
- Al accionar el sensor de contacto *S2*, el Arduino ejecuta la orden de salida *aumentar la marcha de cambio*, el servo gira la palanca de cambios en sentido anti horario y la regresa a la posición inicial, el LCD muestra la marcha en la que se encuentra el vehículo.
- Al accionar el sensor de contacto *S3*, el Arduino ejecuta la orden de salida *neutro*, el servo gira la palanca de cambios en sentido horario y la regresa a la posición inicial (repite este proceso hasta alcanzar el neutro).

4.4 Conexión general del sistema

A continuación se presenta el diagrama de conexión general del sistema electromecánico:

Figura 3-4. Conexión del sistema electromecánico



Fuente: Autores

4.5 Construcción del sistema electro-mecánico

La construcción del sistema electro-mecánico se elaboró en base a los diagramas de conexión citados anteriormente, a continuación, se describe el proceso de construcción del sistema:

- En primer lugar, se instaló el switch carbono tipo avión con led, que actúa como un interruptor de corriente eléctrica del sistema electro-mecánico. El interruptor se conectó, por medio de bornes, a la batería del vehículo; la cual proporciona la energía necesaria para el funcionamiento óptimo del sistema.

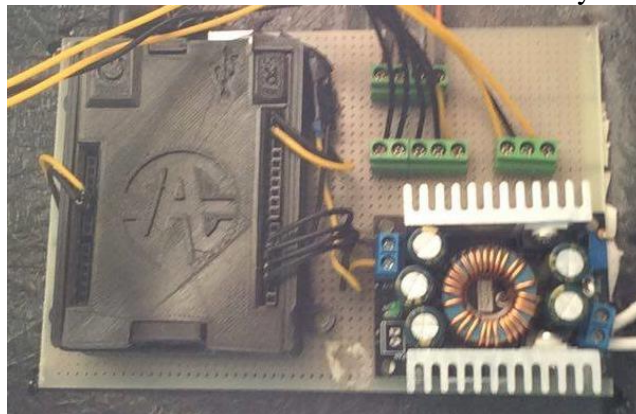
Figura 4-4. Instalación, interruptor del sistema electromecánico



Fuente: Autores

- Luego, se instaló la unidad de control del sistema electro-mecánico. Para facilitar la conexión de las entradas y salidas en la unidad de control, se utilizó borneras electrónicas. La unidad de control se ubicó debajo del panel de control del vehículo.

Figura 5-4. Conexión de la unidad de control a las entradas y salidas del sistema



Fuente: Autores

- La pantalla LCD se instaló junto a la pantalla principal del panel de control del vehículo; gracias a esta ubicación el conductor puede visualizar fácilmente la marcha en la que se encuentra el vehículo.

Figura 6-4. Instalación de la pantalla LCD



Fuente: Autores

- El servomotor se instaló debajo de la palanca de cambios del vehículo; se ubicó en ese punto por los motivos establecidos anteriormente. En resumen, gracias a esa ubicación el torque requerido por el servomotor no debe ser muy alto.

Figura 7-4. Instalación del servomotor



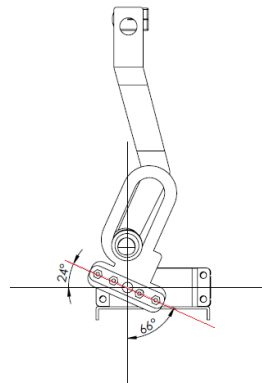
Fuente: Autores

- Para accionar la palanca de cambios del vehículo, se acopló en el eje del servomotor una pequeña pieza metálica; la cual desplaza la palanca de cambios en sentido horario u anti horario según se requiera.

Para la correcta instalación se debe tomar en cuenta la posición de la palanca del servomotor para su correcto funcionamiento.

Se debe tomar en cuenta la posición de instalación con se muestra en las figuras siguientes, en las cuales indica los grados en el cual se debe colocar y en el acople de la palanca en la parte azul se realizó una señal que no perjudica a su funcionamiento dicha señal se debe colocar hacia arriba. Para una mejor apreciación de las medidas de instalación los planos se encuentran en el anexo D

Figura 8-4. Posición de la palanca del servomotor



Fuente: Autores

Figura 9-4. Instalación, palanca del servomotor



Fuente: Autores

- Se instala el acople al volante y los sensores de contacto a dicho acople, los cables de conexión se ubican estratégicamente para no afectar al funcionamiento.

Figura 10-4. Instalación, acople del volante



Fuente: Autores

- Se colocó al final de los cables que se encuentran soldados a los sensores un socket para el desmontaje del volante, los cables fueron recubiertos por enrolla cable industrial para su protección.

Figura 11-4. Instalación de socket



Fuente: Autores

4.6 Pruebas y funcionamiento

Se comprobó el funcionamiento del sistema electro-mecánico y los resultados obtenidos fueron satisfactorios. Los resultados se midieron en función del tiempo de accionamiento del sistema electro-mecánico y el engrane correcto de cada una de sus marchas.

Se realizaron 3 pruebas, la primera con la paleta del lado izquierda la cual acciona el aumento de marchas; la segunda prueba con la paleta derecha para la disminución de marcha y la tercera y última la paleta del medio la cual disminuye las marchas hasta el neutro identificando la marcha en la que se encuentre. Dichas pruebas fueron realizadas con filmaciones y analizadas segundo a segundo. En la siguiente tabla se muestra los tiempos en segundos de accionamiento obtenidos:

Tabla 1-4. Tiempos de accionamiento en segundos.

Repetición	Prueba 1 Marcha						Prueba 2 Marcha						Prueba 3 Marcha					
	N-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-5	5-4	4-3	3-2	2-1	1-N	1-N	2-N	3-N	4-N	5-N	6-N
1	1,2 0	1,0 0	1,0 3	1,0 5	1,0 4	1,0 6	1,0 5	1,0 1	0,9 8	1,0 3	1,0 1	1,1 0	1,2 2	1,6 5	2,0 5	2,3 6	2,8 0	3,2 0
2	1,1 8	1,0 5	1,0 1	0,9 5	1,0 1	0,9 9	1,0 1	1,0 6	1,0 5	0,9 4	0,9 5	1,0 4	1,2 0	1,6 0	2,0 0	2,4 0	2,7 5	3,1 7
3	1,2 3	0,9 6	0,9 7	1,0 2	0,9 8	1,0 0	0,9 4	1,0 3	1,0 2	1,0 0	1,0 2	1,2 2	1,1 8	1,5 5	1,9 7	2,4 4	2,8 4	3,2 3
Promedio	1,2 0	1,0 0	1,0 0	1,0 0	1,0 1	1,0 1	1,0 0	1,0 3	1,0 1	0,9 9	0,9 9	1,1 2	1,2 0	1,6 0	2,0 0	2,4 0	2,7 9	3,2 0

Fuente: Autores

El mecanismo de accionamiento de las marchas tanto en el incremento y disminución son similares es por tanto que se calculó un promedio por repetición.

Promedio de repetición 1=1,04

Promedio de repetición 2=1,02

Promedio de repetición 3=1,03

CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Proceso de selección de cambios de marcha

5.1.1 *Tiempos de accionamiento.* Para el análisis se consideró los siguientes tipos de accionamiento con la ayuda de simogramas los cuales analizan el movimiento de las manos. Dichas pruebas fueron realizadas con filmaciones y analizadas segundo a segundo.

Tiempo de accionamiento manual: Es el tiempo que el piloto tarda en soltar el volante, tomar la palanca de cambios, accionarla y volver a tomar el volante.

En el siguiente simograma se puede observar el tiempo del accionamiento manual, el análisis se lo realizó en un carro que posee acoplado el sistema manual en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

Tabla 1-5. Simograma, Accionamiento manual

SIMOGRAMA							
OPERACIÓN:		Accionamiento manual de la palanca de cambios					
OPERARIO: Piloto	FECHA: 2017-03-24	HECHO POR: Pizarro - Zharuma			HOJA N° 01		
DESCRIPCIÓN	Símbolo del therblig	TIEMPO EN SEGUNDOS	Símbolo del therblig	DESCRIPCIÓN			
MANO IZQUIERDA				MANO DERECHA			
Sostiene el volante	SO	3,4	0,2	S	Soltar el volante		
			0,5	AL	Alcanzar la palanca de cambio		
			0,1	T	Tomar la palanca de cambio		
			1,8	M	Mover la palanca de cambio		
			0,1	S	Soltar la palanca de cambio		
			0,5	AL	Alcanzar el volante		
			0,2	T	Tomar el volante		
		<i>3,4</i>	<i>3,4</i>				

Fuente: Autores

Tiempo de accionamiento automático: Es el tiempo que el piloto tarda en presionar la paleta donde se encuentra los sensores de accionamiento.

En los siguientes simogramas se puede observar el tiempo del accionamiento automático para el incremento, disminución de marcha una a una y la disminución de marchas directamente al neutro.

Tabla 2-5. Simograma accionamiento automático, incremento de marcha

SIMOGRAMA								
OPERACIÓN:		Accionamiento automático de la palanca de cambios, incremento de la marcha.						
OPERARIO: Piloto		FECHA: 2017-03-24		HECHO POR: Pizarro - Zharuma			HOJA N° 03	
DESCRIPCIÓN		Símbolo del therblig	TIEMPO EN SEGUNDOS			Símbolo del therblig	DESCRIPCIÓN	
MANO IZQUIERDA							MANO DERECHA	
Mientras sostiene el volante, levantar el dedo índice y posicionar donde se encuentra el sensor de contacto.		SO		0,2	0,7	SO	Sostiene el volante	
Mientras sostiene el volante, presionar la leva de cambio de marcha con el dedo.								0,3
Mientras sostiene el volante, levantar el dedo índice y dirigirlo a su posición inicial.								0,2
				0,7	0,7			

Fuente: Autores

Tabla 3-5. Simograma accionamiento automático, disminución de marcha

SIMOGRAMA								
OPERACIÓN:		Accionamiento automático de la palanca de cambios, disminución de la marcha.						
OPERARIO: Piloto		FECHA: 2017-03-24		HECHO POR: Pizarro - Zharuma			HOJA N° 02	
DESCRIPCIÓN		Símbolo del therblig	TIEMPO EN SEGUNDOS			Símbolo del therblig	DESCRIPCIÓN	
MANO IZQUIERDA							MANO DERECHA	
Sostener el volante		SO		0,7		SO	Mientras sostiene el volante, levantar el dedo índice y posicionar donde se encuentra el sensor de contacto.	
							0,2	Mientras sostiene el volante, presionar la leva de cambio de marcha con el dedo.
							0,3	Mientras sostiene el volante, levantar el dedo índice y dirigirlo a su posición inicial.
				0,2	0,7			
				0,7	0,7			

Fuente: Autores

En comparación a los valores medidos de accionamiento de cada marcha se tiene un promedio de 1 segundo y en el análisis del simograma se obtuvo un valor de 0,7 segundos, el sistema en transmitir la orden se demora 0,3 segundos.

Tabla 4-5. Simograma accionamiento automático, disminución de marcha directo a neutro

SIMOGRAMA								
OPERACIÓN:		Accionamiento automático de la palanca de cambios, disminución de la marcha directamente a neutro						
OPERARIO: Piloto		FECHA: 2017-03-24		HECHO POR: Pizarro - Zharuma			HOJA N° 02	
DESCRIPCIÓN		Símbolo del therblig	TIEMPO EN SEGUNDOS			Símbolo del therblig	DESCRIPCIÓN	
MANO IZQUIERDA							MANO DERECHA	
Sostener el volante		SO		1,2		SO	Mientras sostiene el volante, deslizar la mano y la dirigirla a la parte inferior de volante	
							0,4	Mientras sostiene el volante, levantar el dedo índice y posicionar donde se encuentra el sensor de contacto.
							0,2	Mientras sostiene el volante, presionar la leva de cambio de marcha con el dedo.
							0,2	Mientras sostiene el volante, levantar el dedo índice y dirigirlo a su posición inicial.
				0,4	0,7			

Fuente: Autores

La disminución de marcha directo a neutro se obtuvo un tiempo de activación de 1,2 segundos, pero el tiempo de accionamiento varía en la marcha que se encuentre y baja directo a neutro dichos valores fueron medidos en la tabla 16.

Si se compara los métodos de selección manual y automático se evidencia una mejora en el proceso de conducción, ya que al implementar el acople con sensores de contacto en el volante se reducen las actividades que realiza el conductor cuando acciona la palanca de cambios.

De acuerdo al análisis, se puede observar que en el simograma de accionamiento automático el conductor no tiene la necesidad de soltar el volante para accionar la palanca de cambios, situación que no sucede en el accionamiento manual. Además, se reducen las actividades que debe realizar el conductor al momento de seleccionar la marcha.

5.1.2 *Comparación de los métodos de cambio de marchas con la ayuda de DCA.* A continuación se va a analizar y comprobar, por medio de un diseño completamente al azar (DCA), que el accionamiento automático es la mejor opción para optimizar el proceso de conducción del vehículo.

Para ello, se han registrado diferentes tiempos que tarda el conductor en accionar la palanca de cambios: manualmente y automáticamente. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5-5. Tiempos de accionamiento.

Pruebas	Tiempo (segundos)	
	Accionamiento Manual (M)	Accionamiento Automático (A)
1	3,2	1,4
2	3,4	1,2
3	3,0	1,3

Fuente: Autores

Con estos datos, por medio del diseño completamente al azar se va a comprobar si existen diferencias entre el accionamiento manual y el automático; además se va a determinar cuál es la mejor opción para optimizar el proceso de conducción del vehículo.

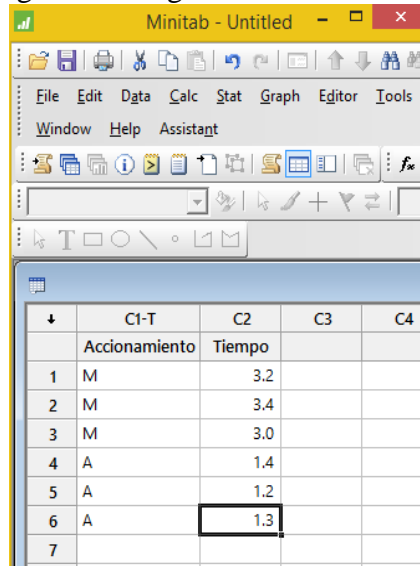
En resumen, el DCA consiste en la comparación entre un coeficiente de Fisher calculado F_c (con el ANOVA) y un coeficiente de Fisher tabulado F_t .

Si $F_c > F_t$ se concluirá que el accionamiento automático es la mejor opción para optimizar el proceso de conducción.

Para determinar el coeficiente de Fisher calculado F_c , se sigue el siguiente procedimiento:

- Ingresar los datos en el software Minitab, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1-5. Ingresar datos a Minitab

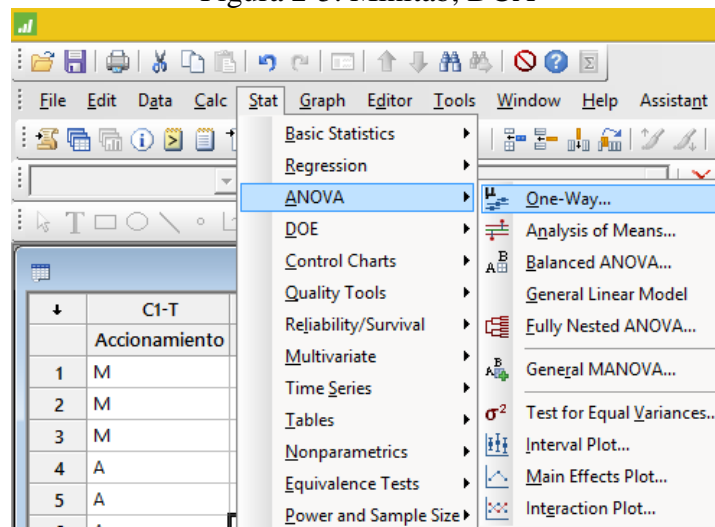


	C1-T	C2	C3	C4
	Accionamiento	Tiempo		
1	M	3.2		
2	M	3.4		
3	M	3.0		
4	A	1.4		
5	A	1.2		
6	A	1.3		
7				

Fuente: Autores

- En la barra de herramientas del programa seleccionar Stat, ANOVA y dar clic en ONE WAY; como se muestra en la siguiente figura:

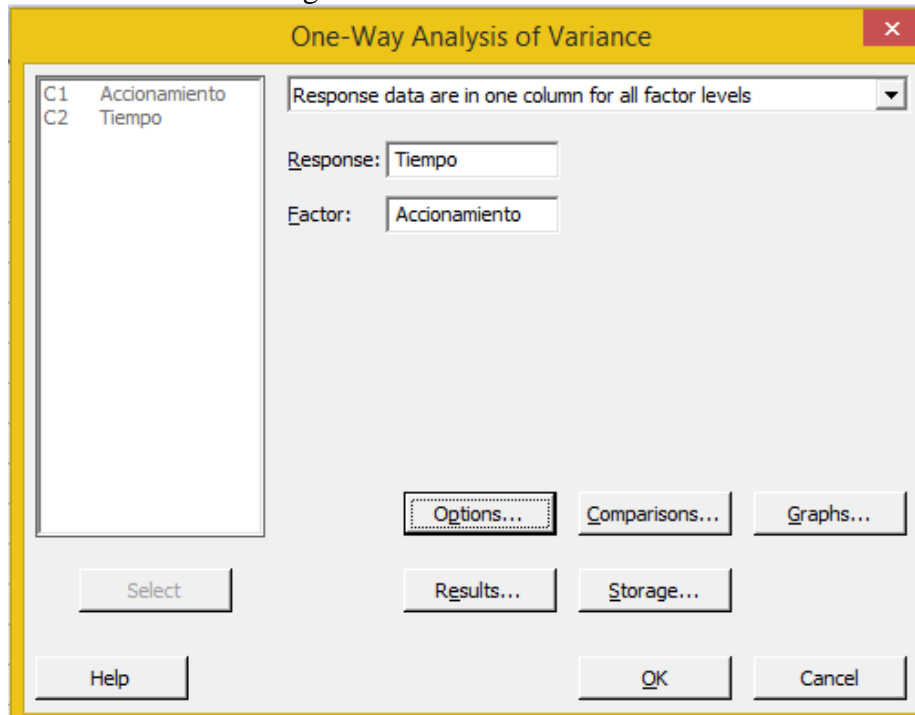
Figura 2-5. Minitab, DCA



Fuente: Autores

- A continuación se despliega una ventana de diálogo, y se selecciona Tiempo para RESPONSE (variable respuesta), y se selecciona Accionamiento para FACTOR (factor influyente), como se muestra en la siguiente figura:

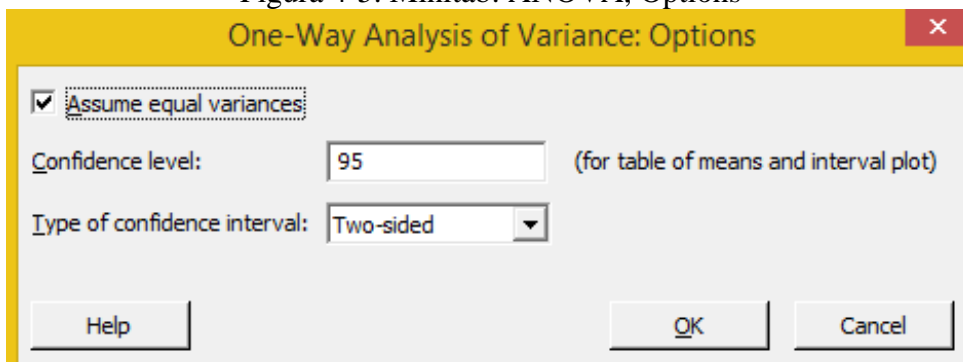
Figura 3-5. Minitab: ANOVA



Fuente: Autores

- Dar clic en *Options*, señalar un nivel de confianza del 95% y dar clic en *OK*, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 4-5. Minitab: ANOVA, Options

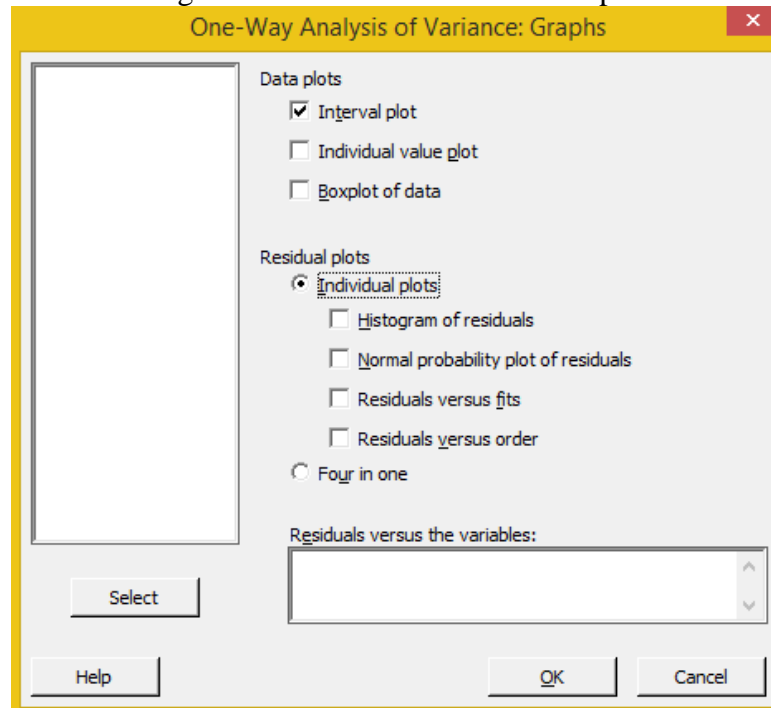


Fuente: Autores

- Dar clic en *Graphs*, seleccionar *Interval plot* y dar clic en *OK*.

La opción Interval Plot compara los tiempos promedio de accionamiento manual y automático con el fin de determinar cuál es la mejor opción para la optimización del proceso de conducción.

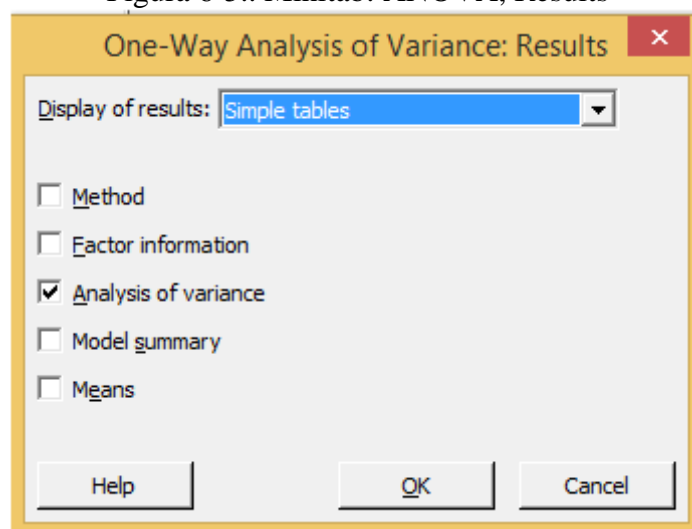
Figura 5-5. Minitab: ANOVA: Graphs



Fuente: Autores

- Finalmente, dar clic en *Results*, señalar *Analysis of variance* y dar clic en *OK*, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6-5.. Minitab: ANOVA, Results



Fuente: Autores

- El resultado obtenido en el análisis de varianza ANOVA es el siguiente:

Figura 7-5. Minitab: Resultado ANOVA

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Accionamiento	1	5.4150	5.41500	216.60	0.000
Error	4	0.1000	0.02500		
Total	5	5.5150			

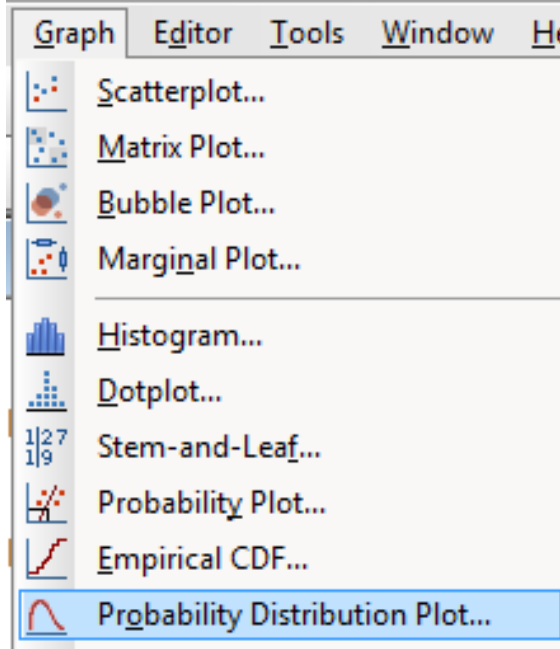
Fuente: Autores

El valor que nos interesa es $F_c = 216.60$, el cual corresponde al coeficiente de Fisher calculado.

Se determina el coeficiente de Fisher tabulado, para ello se siguen los siguientes pasos:

- En la barra de herramientas del programa seleccionar *Graph* y dar clic en *Probability Distribution Plot*.

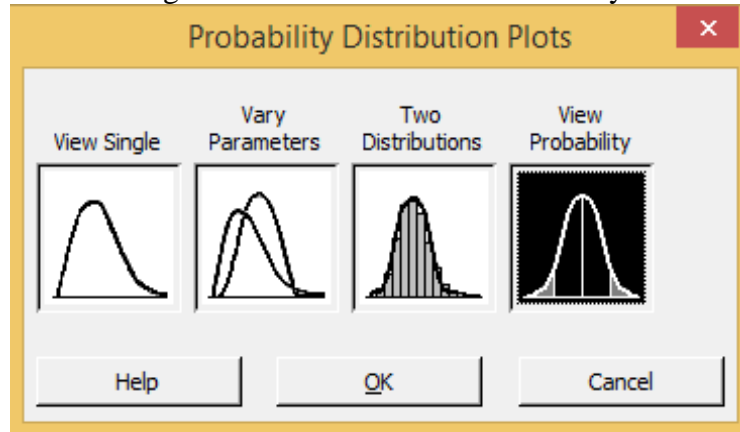
Figura 8-5. Minitab: Probability Distribution plot



Fuente: Autores

- En la ventana que se despliega seleccionar *View Probability* y dar clic en *OK*.

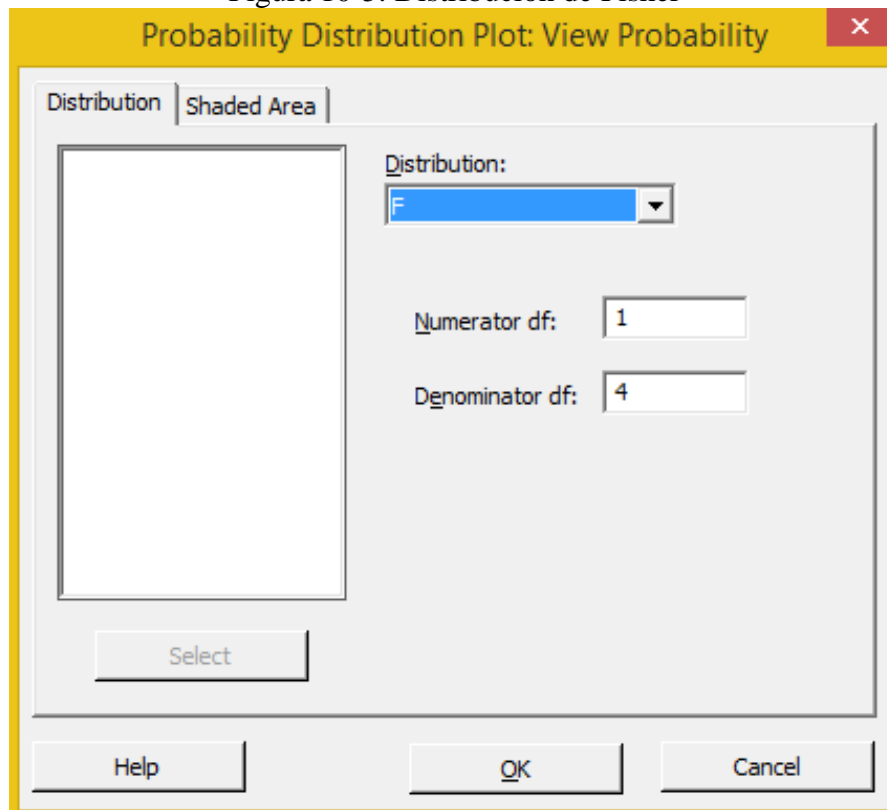
Figura 9-5. Minitab: View Probability



Fuente: Autores

- A continuación se despliega una ventana, en la opción *Distribution* seleccionamos la opción *F* de Fisher, en *Numerator df* escribimos el 1 y *Denominator df* escribimos el 8 (Los dos últimos valores *df* son tomados de la tabla ANOVA del análisis de varianza).

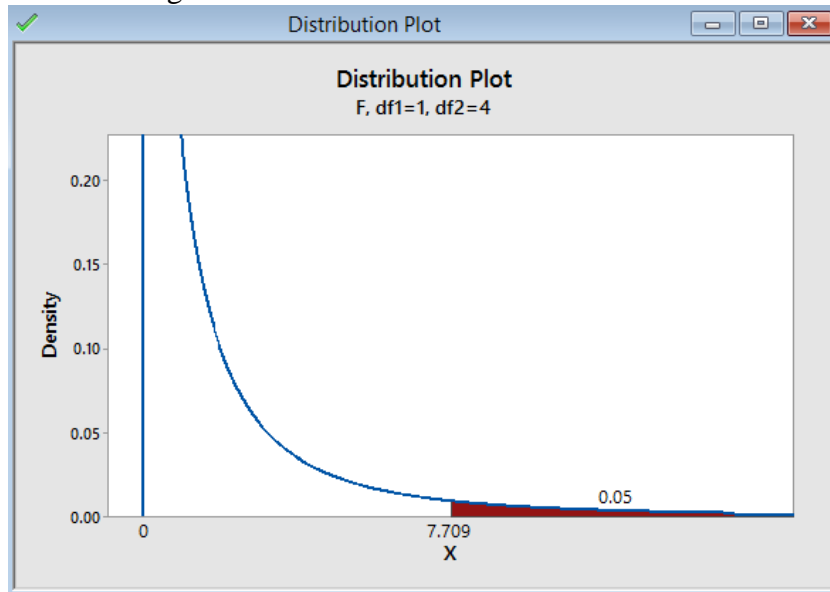
Figura 10-5. Distribución de Fisher



Fuente: Autores

- El resultado obtenido para el coeficiente de Fisher tabulado es $F_t = 5.318$.

Figura 11-5. Coeficiente de Fisher Tabulado

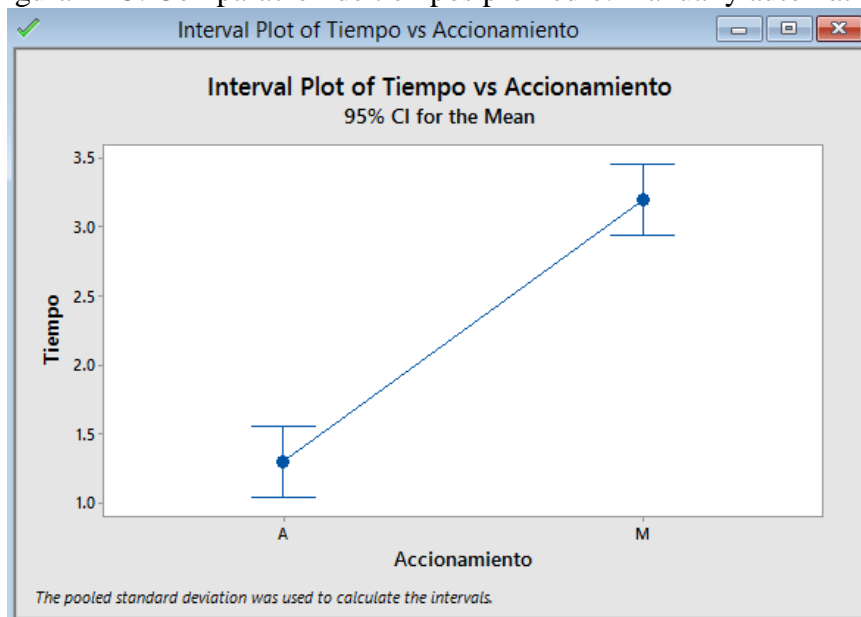


Fuente: Autores

Como $F_c = 216.6$ y $F_t = 7.709$, entonces $F_c > F_t$ ya que $216.6 > 7.709$; por lo tanto se concluye que existe una diferencia significativa entre los accionamientos manual y automático.

La mejor opción para la optimización del proceso de conducción la determinará el resultado obtenido de la función *Interval plot* de Minitab, el resultado se muestra en la siguiente figura:

Figura 12-5. Comparación de tiempos promedio: manual y automático



Fuente: Autores

Como se puede observar en el gráfico, el tiempo promedio de accionamiento automático es menor que el tiempo promedio de accionamiento manual.

$$\overline{T_M} = \frac{\sum T_M}{3} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} = \frac{3.2 + 3.4 + 3}{3} = 3.2 \text{ s}$$
$$\overline{T_A} = \frac{\sum T_A}{3} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} = \frac{1.4 + 1.2 + 1.3}{3} = 1.3 \text{ s}$$

Por lo tanto, se concluye que el accionamiento automático es la mejor opción para la optimización del proceso de conducción del vehículo con un tiempo promedio de accionamiento $\overline{T_A} = 1.3 \text{ s}$.

$$\overline{T_M} - \overline{T_A} = 3.2 - 1.3 = 1.9 \text{ s}$$

Con el sistema electromecánico se redujo el tiempo de accionamiento de la palanca de cambios un total de 1.9 segundos.

Con este antecedente se concluye que, con el sistema electromecánico se mejora la maniobrabilidad del vehículo y se reduce la distracción del conductor al momento de accionar la marcha.

CAPÍTULO VI

6. PRESUPUESTO

Para la implementación de la propuesta tecnológica se consideraron las mejores ofertas de los dispositivos a instalar, sin dejar de lado la calidad, eficiencia y tecnología. Los costos directos corresponden a los elementos que influyen directamente en la instalación, y los costos indirectos a los asignados a materiales y recursos secundarios.

6.1 Costos directos

Tabla 1-6. Costos directos

Ítem	Denominación	Unidad	Precio [USD]
1	Arduino uno	1	50,00
2	Pantalla LCD 1602	1	25,00
3	Controlador LCD I2C	1	8,00
4	Servomotor DW845WP	1	180,00
5	Fuente regulada de voltaje	1	155,00
6	Soporte para Arduino Uno	1	15,00
7	Soporte para pantalla LCD	1	25,00
8	Sensores de Contacto (fines de carrera) KW11-3Z	1	4,50
9	Switch carbono tipo avión con led	3	12,00
10	Cable	10 m	10,00
11	Acople del servo	1	60,00
12	Acople palanca	1	75,00
13	Acople volante	1	80,00
Total			699,50

Fuente: Autores

6.2 Costos indirectos

Tabla 2-6. Costos indirectos

Ítem	Denominación	Precio [USD]
1	Materiales	250,00
2	Imprevistos	150,00
3	Envío de elementos del extranjero	250,00
Total		650,00

Fuente: Autores

6.3 Costos totales

Tabla 3-6. Costos totales

Ítem	Denominación	Precio [USD]
1	Costos directos totales	699,50
2	Costos indirectos totales	650,00
Total		1349,50

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se diseñó y construyó el sistema electro-mecánico de cambios de marchas mediante la selección adecuada de elementos, el sistema cumple con los parámetros de diseño y optimiza el proceso de conducción del vehículo.

El sistema electro-mecánico de cambios de marcha redujo el tiempo promedio de accionamiento de la palanca de cambios un total de 1,9 segundos.

Los elementos de control del sistema electro-mecánico están diseñados para ser ubicados en el volante del vehículo, esto facilita el acceso al mando de control de marcha.

Con la implementación del sistema electro-mecánico de cambios de marcha en el vehículo, el piloto evita desconcentraciones al momento de accionar la marcha; pues estas son accionadas sin que el piloto tenga que perder contacto con el volante.

Al ubicar los elementos de control del sistema electromecánico en el volante, el piloto no pierde contacto con el volante al momento de accionar la marcha por ende se aumenta la maniobrabilidad del vehículo y se mejora la confortabilidad (ergonomía) del piloto.

Se comprobó el funcionamiento de los elementos del sistema electromecánico; probando que los sensores de contacto envíen correctamente las señales de entrada, que el Arduino procese debidamente la programación y que el servo y la pantalla LCD ejecuten correctamente las órdenes enviadas por la unidad de control; de esta forma el sistema fue probado y calibrado con satisfacción.

7.2 Recomendaciones

En la selección de los elementos para el sistema electro-mecánico utilizar elementos de fácil adquisición en el mercado con el fin de reducir el tiempo y costo de fabricación, tomando en cuenta que este fin es uno de los objetivos de la fórmula SAE.

Optimizar de la mejor manera la programación y los flujos de información, para evitar la saturación de los procesadores de la placa Arduino uno y por ende lograr una mayor rapidez de funcionamiento.

Debido a que este es un sistema electromecánico aplicado en el campo automotriz, se recomienda el uso de normas automotrices y elementos diseñados para este campo.

Para futuros proyectos se recomienda aplicar el principio de mejora continua en el sistema electromecánico de selección de marchas.

BIBLIOGRAFÍA

ARDUINO. *Arduino uno open soft.* [En línea] 2017. [Consulta: 18 de enero de 2017.] Disponible en: <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>.

BESTRATEN, Bellovi M. *Ergonomía.* Barcelona: INSHT, 1994. pp. 13-18.

BOSCH. *Regulación electrónica Diesel (EDC).* Stuttgart: Reverte, 2002. pp. 34-38.

CAIZA COELLO, Pedro Pablo & AREQUIPA CHILUISA, Omar Ramiro. *Diseño y construcción de un mecanismo para automatizar el sistema de selección de velocidades para el vehículo corsa evolution 1400 cc (tesis).* (Ingeniería). Escuela Politécnica Del Ejército. Carrea de Ingeniería Automotriz. Latacunga-Ecuador 2007. pp. 44-47. [Consulta: 28 de junio de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/655678>

CLEMENTE, Freddy. *Fase en español.* [En línea] 2016. [Consulta: 23 de Febrero de 2017.] Disponible en: <http://fsaenespanol.blogspot.com/2016/05/normas-formula-sae-2017-2018.html>.

CORTÉS, David. *Seguridad e Higiene del Trabajo, Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales.* Madrid : Editorial Tébar, 2012. pp. 55-62.

CROUSE, W *Transmisión y Caja de Cambios del Automóvil.* [En línea] 1984. [Consulta: 23 de Febrero de 2017.] Disponible en: <https://canaleslicla.files.wordpress.com/2013/10/capitulo2.pdf>

ELECTRONTTOOLS. *ETools.* [En línea] 2017. [Consulta: 24 de abril de 2017.] Disponible en: <http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/05/13/programacion-arduino-uno/>.

ELIZALDE SARITAMA, Gabriel Marcelo & LOAYZA CAMACHO, Kleber Javier. *Desarrollo de un múltiple de admisión implementado a un vehículo de competencia tipo fórmula sae para la ESPOCH.* (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba: Ecuador, 2016. pp. 44-47. [Consulta: 28 de abril de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789567589>

GORDILLO BRAVO, Edison Xavier & LARA SALAS, Luis Eduardo. *Diseño e implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando sistemas fpga para el prototipo FESPE 2013.(Tesis).* (Ingeniería). Escuela Politécnica Del Ejército. Carrera de Ingeniería Automotriz. Latacunga-Ecuador. 2015. pp. 44-47. [Consulta: 28 enero de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/1234564589/6589>

LETRÁN, Julio. *Corto Circuito.* [En línea] 2013. [Consulta: 18 de febrero de 2017.] Disponible en: <http://www.cortoc.com/2011/12/introduccion-arduino.html>.

MEGANEBOY, Dani. Aficionados a la mecánica. [En línea] 2014. [Consulta: 8 de marzo de 2017.] Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/caja-cambios6.htm>.

MOTORCYCLE SAFETY FOUNDATION. *Manual del operador de motocicleta.* USA : Impresión y distribución cortesía de MSF, 2014. pp. 45-55.

OSCAR. Ingeniería del Automóvil. [En línea] 2009. [Consulta: 8 de febrero de 2017.] Disponible en: <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>.

SANCHEZ, V. *Cajas Automáticas.* [En línea] 2004. [Consulta: 8 de febrero de 2017.] Disponible en: <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>.

TALLER VIRTUAL. *Actualidad motor.* [En línea] 2008. [Consulta: 8 de marzo de 2017.] Disponible en: <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>.
<https://www.actualidadmotor.com/partes-constitutivas-de-los-sistemas-de-transmision/>.

VILLAHERMOSA, Enrique. *Tecnoblogueando Tecnología Industrial.* [En línea] 2013. [Consulta: 20 de abril de 2017.] Disponible en: <http://tecnoblogueando.blogspot.com/2013/04/caja-de-cambios-de-unamotocicleta.html>.