



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

ESPE – LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TESIS DE GRADO

**“ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
MECANISMO PARA AUTOMATIZAR EL
SISTEMA DE SELECCIÓN DE
VELOCIDADES PARA EL VEHÍCULO
CORSA EVOLUTION 1400 cc.”**

PEDRO PABLO CAIZA COELLO

OMAR RAMIRO AREQUIPA CHILUISA

OCTUBRE - 2007

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo teórico – práctico fue realizado en su totalidad por los Señores: Pedro Pablo Caiza Coello y Ramiro Omar Arequipa Chiluisa, bajo nuestra dirección.

Ing. Oscar Arteaga
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Galo Ávila
CODIRECTOR DE TESIS

Agradecimiento

Quisiera agradecer en primer lugar a Señor todopoderoso que es Dios que me ha dado fortaleza y me ha permitido culminar este proyecto.

Un especial y profundo agradecimiento a mis amados y adorados Padres Florita Coello y Víctor Caiza quienes con amor y paciencia supieron guiarme por el camino correcto, porque ellos han sido partícipes de los múltiples problemas, fracasos, frustraciones, éxitos y alegrías que he tenido a lo largo de mi vida, además el de alentarme cada día para culminar este pedregano más de mi vida, el obtener un título y asegurar una vida digna y clara en el futuro y de no decaer en el camino, que agradecidos estoy ante Dios por la felicidad de poder compartir con ellos todavía.

A mis queridos hermanos Patricia Alexandra, Víctor Xavier, Byron Rene y José Luis, quienes supieron motivarme moralmente para alcanzar uno más de mis anhelos.

A mis pequeños Sobrinos, Cuñadas, Tíos y Primos los cuales de una u otra forma han contribuido a la realización de este proyecto y han sabido estar pendientes y sobre todo apoyarme.

A mis amigos con quienes he compartido momentos inolvidables experiencias y conocimientos a quines no quisiera nombrarlos porque no quisiera olvidarme de alguien.

Pedro.

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado a las personas que desinteresadamente me apoyaron y que sobre todo estuvieron tan pendientes y que solo esperaban de mi la felicidad y el éxito; a Florita Coello mi Madre, Víctor Caiza mi Padre, mis Hermanos Patty, Xavier, Byron y José Luis.

A mi Abuelita Zoila Espín y mi Primito Diego Coello, que seguro estoy que son mis angelitos de la guardia que no permiten que me pase nada malo y me han apoyado desde el cielo.

Pedro.

AGRADECIMIENTO.

“Te alabaré, oh Jehová, con todo mi corazón;me alegraré y me regocijaré en ti” Salmo 9:1-2

El presente trabajo va dirigido como una expresión de gratitud a Dios, por que su presencia y sabiduría se ve manifiesta en cada una de las hojas de este proyecto.

A mi entrañable Escuela Politécnica del Ejercito, en cuyas aulas y bajo la tutela y guía de su personal docente alcance los niveles de preparación técnica, académica y profesional de calidad, que hoy se ven reflejadas en este proyecto.

A Pedro de quien me siento feliz y orgulloso de poder llamarme su amigo y compañero.

A los señores Ingenieros: Oscar Arteaga y Galo Avila, Director y Co-Director del presente proyecto, quines fieles a su apostolado, supieron guiarnos con profesionalismo, nobleza, entusiasmo y excelencia a lo largo de la realización de nuestra tesis.

A mis padres y hermanas por ser ese pilar fundamental donde se han ido materializando cada uno de mis sueños y expectativas.

A Karina, esa persona tan especial cuyas palabras y ánimo me han retado a demostrarme que cada día puedo y debo ser mejor.

Por último debo hacer manifiesto mi sentimiento de gratitud a cada unas de las personas que durante mis cinco años de permanencia en la ESPE sede

Latacunga, supieron compartir su amistad, compañerismo y cariño; debo hacerles llegar a mis queridos maestros, amigos y compañeros un fuerte abrazo de gratitud que no signifique un adiós sino un hasta pronto, querida familia Politécnica.

De ustedes su amigo: R. Omar Arequipa Ch.

DEDICATORIA

Al culminar una etapa más en mi vida personal y profesional dedico el presente trabajo a mi queridísima familia: Ramiro, Cecilia, Patty y Erika; por ser el impulso vital y apoyo incondicional en cada paso que me he propuesto.

A mi querida y noble Institución Policial, por haberme dado la oportunidad de prepararme y obtener un título académico; que de seguro lo pondré a servicio de la Policía Nacional de Ecuador, con calidad y excelencia como lo hace un egresado de la ESPE sede Latacunga.

Finalmente al alcanzar el título de Ingeñero Automotriz, lo dedico a Dios para que su sabiduría ilumine y guíe cada uno de mis pasos.....

R. Omar Arequipa Ch.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	ix
INTRODUCCIÓN	1
I. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE LAS CAJAS DE CAMBIO MANUALES.....	3
1.1 GENERALIDADES: TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	3
1.1.1 DESCRIPCIÓN.....	3
1.1.2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	3
1.1.2.1 POTENCIA.....	4
1.1.2.2 PAR MOTOR.....	5
1.1.3 NECESIDAD DE LA CAJA DE CAMBIOS.....	6
1.1.4 DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES DE CAMBIO.....	7
1.1.5 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.....	8
1.1.6 CAMBIO MECÁNICO.....	10
1.1.7 MECANISMOS DE CAMBIO SINCRONIZADO.....	11
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VEHÍCULO.....	12
1.3 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA CAJA DE CAMBIOS MANUAL DEL VEHÍCULO.....	15
1.3.1 CONJUNTO DE ENGRANAJES.....	15
1.3.2 MANDO DE SELECCIÓN.....	17
1.3.3 MECANISMO INTERNO DEL SISTEMA DE CAMBIOS:.....	18
1.3.4 CONJUNTO DE SINCRONIZACIÓN:.....	21
1.3.5 DIFERENCIAL:.....	22
II. ELEMENTOS Y COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	24
2.1 ACTUADORES.....	24
2.1.1 ACTUADORES HIDRÁULICOS.....	25
2.1.1.1 CILINDRO HIDRÁULICO.....	26

2.1.1.2	MOTOR HIDRÁULICO.....	26
2.1.2	ACTUADORES NEUMÁTICOS.	26
2.1.3	ACTUADORES ELÉCTRICOS.	27
2.1.3.1	SOLENOIDES.....	27
2.1.3.2	MOTORES PASO A PASO.....	28
2.1.3.2.1	INTRODUCCIÓN.	28
2.1.3.2.2	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.	29
2.1.3.2.3	TIPOS DE MOTORES PASO A PASO.....	30
2.1.3.2.4	CONTROL DE LOS MOTORES PASO A PASO.....	32
2.1.3.2.5	APLICACIONES DE LOS MOTORES PASO A PASO.....	33
2.1.3.2.6	CARACTERÍSTICAS:.....	33
2.1.3.3	MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE CONTINUA.	34
2.1.3.3.1	INTRODUCCIÓN.	34
2.1.3.3.2	CARACTERÍSTICAS.	34
2.1.3.3.3	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.	35
2.1.3.3.4	TIPOS DE MOTORES ELÉCTRICOS.	36
2.2	SELECCIÓN DEL ELEMENTO ELECTROMECAÁNICO A UTILIZARSE EN EL MECANISMO DE AUTOMATIZACIÓN DEL CAMBIO DE VELOCIDADES.....	36
2.2.1	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÁNICOS.	36
2.2.2	DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES.....	37
2.2.3	FACILIDAD PARA REALIZAR EL CONTROL DEL COMPONENTE POR MEDIO DE UN MICROCONTROLADOR.....	37
2.2.4	DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO NACIONAL Y PRECIO DEL ELEMENTO ELECTROMECAÁNICO.....	38
2.2.5	JUSTIFICACIÓN.....	38
2.3	MICROCONTROLADORES.	39
2.3.1	INTRODUCCIÓN.	39
2.3.2	VENTAJAS DEL USO DE LOS MICROCONTROLADORES.	40
2.3.3	APLICACIONES DE LOS MICROCONTROLADORES.....	41
2.3.4	TIPOS DE MICROCONTROLADORES.....	41
2.3.4.1	ALTAIR.....	41

2.3.4.2	INTEL.....	41
2.3.4.3	SIEMENS.....	42
2.3.4.4	MOTOROLA	43
2.3.4.5	MICROCHIP	43
2.3.5	ARQUITECTURA BÁSICA.....	43
2.3.5.1	EL PROCESADOR O CPU.....	44
2.3.5.2	MEMORIA.....	46
2.3.5.3	PUERTAS DE ENTRADA Y SALIDA.....	49
2.3.5.4	TIPOS DE OSCILADORES	50
2.3.6	RECURSOS ESPECÍFICOS DE LOS MICROCONTROLADORES.	51
2.3.7	HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES.....	51
2.4	SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR PARA LA APLICACIÓN.	53
2.4.1	FACTOR ECONÓMICO.....	53
2.4.2	APLICACIÓN.	54
2.4.3	MICROCONTROLADOR PIC.	55
2.4.3.1	JUEGO DE INSTRUCCIONES Y ENTORNO DE PROGRAMACIÓN.	56
2.4.3.2	PROGRAMACIÓN DEL PIC	56
2.4.3.3	PROGRAMADORES:	57
2.4.3.4	DEPURADORES INTEGRADOS.....	58
2.4.3.5	EMULADORES.....	58
2.4.3.6	TAMAÑO DE PALABRA	58
2.4.3.7	CARACTERÍSTICAS.	58
2.4.3.8	PIC'S MÁS COMÚNMENTE USADOS	59
2.4.4	SELECCIÓN DEL PIC.	60
2.4.4.1	PIC 16F873.....	60
2.4.4.1.1	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	60
2.4.4.1.2	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.....	61
2.4.4.1.3	TERMINALES DE ENTRADA Y DE SALIDA.....	61
2.4.4.1.4	ESTRUCTURA INTERNA DEL PIC 16F873.....	62

2.4.4.1.5	SISTEMA DE MEMORIA.....	68
-----------	-------------------------	----

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO PARA

AUTOMATIZAR EL SISTEMA DE SELECCIÓN DE VELOCIDADES..... 71

3.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	71
3.2	DISEÑO MECÁNICO:.....	71
3.2.1	DETERMINACIÓN DE LAS FUERZAS DE OPERACIÓN PARA EL CAMBIO DE MARCHAS (DINAMÓMETRO).	74
3.2.2	CONCEPCIÓN DEL MECANISMO.....	80
3.2.2.1	RESTRICCIONES.....	80
3.2.2.2	ACCIONAMIENTO.....	83
3.2.3	MECANISMO DEFINITIVO:.....	83
3.2.3.1	DISEÑO PRINCIPAL Y CONSTRUCCIÓN:.....	85
3.2.3.2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE:	95
3.3	DISEÑO ELECTRÓNICO:	107
3.3.1	PARÁMETROS Y SEÑALES CONSIDERADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ACTIVACIÓN Y CONTROL DE VELOCIDADES.	107
3.3.1.1	RÉGIMEN DE GIRO DEL MOTOR.....	108
3.3.2	SEÑALES Y SU PROCESAMIENTO.....	109
3.3.2.1	CAS (SENSOR DE REVOLUCIONES DEL CIGÜEÑAL):.....	109
3.3.2.2	PULSADORES EN EL VOLANTE PARA LA ELECCIÓN DEL CAMBIO DE MARCHA.	113
3.3.2.3	INTERRUPTOR EN EL PEDAL DEL EMBRAGUE.....	113
3.3.2.4	PULSADOR N PARA LA POSICIÓN DE NEUTRO.	114
3.3.3	SEÑALES DE SALIDA.....	114
3.3.3.1	CONTROL DE LOS MOTORES DE CD.	114
3.3.3.2	INDICADOR VISUAL (PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO LCD)..	115
3.3.3.3	INDICADORES LUMINOSOS PARA EL CAMBIO DE MARCHA.	117
3.3.4	SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	118

3.3.4.1	REGULACIÓN DE VOLTAJE	118
3.3.4.2	SEÑALES DE CONTROL.....	118
3.3.4.3	CIRCUITO DE CONTROL DE POTENCIA.....	119
3.3.4.4	CIRCUITO DE CONTROL DE LOS RELÉS.....	119
3.3.4.5	CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DEL SENSOR CAS	120
3.3.5	DISEÑO DEL DIAGRAMA ELECTRÓNICO	120
3.3.5.1	SELECCIÓN DE COMPONENTES	123
3.3.5.2	DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES DEL MODULO DE CONTROL.....	124
3.3.5.2.1	REGULADOR DE VOLTAJE 7805A (NTE 960).....	124
3.3.5.2.2	OPTOACOPLADOR PC817 (NTE 3098).....	124
3.3.5.2.3	TRANSISTOR TIP 122 (NTE 261).....	125
3.3.5.2.4	PUENTE RECTIFICADOR W10M (NTE 5307).....	125
3.3.5.2.5	RELÉS	126
3.3.5.2.6	MICROCONTROLADOR 16F873.....	126
3.3.6	MONTAJE Y PRUEBAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS.....	127
3.3.6.1	SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL PIC.....	131
3.3.6.2	DISEÑO DE PISTAS Y PLACAS.....	135
3.3.6.3	PLACA DEFINITIVA.....	139

IV. INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL MECANISMO DE

	AUTOMATIZACIÓN DEL CAMBIO DE MARCHAS	140
4.1	MONTAJE Y ACOPLAMIENTO MECÁNICO.....	140
4.2	MONTAJE Y ACOPLAMIENTO ELÉCTRICO.....	146
4.3	ADAPTACIONES MECÁNICAS.....	152
4.4	ADAPTACIONES ELÉCTRICAS.....	153
4.5	PRUEBAS A BORDO DEL VEHÍCULO DEL MECANISMO DE AUTOMATIZACIÓN DEL CAMBIO DE VELOCIDADES.....	154
4.5.1	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO AL CONDUCIR.....	154
4.5.2	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO DE CONTROL Y DE SU PROGRAMACIÓN.....	156

4.5.3	PRUEBAS EN LOS MANDOS DE CONTROL PARA REALIZAR LA SELECCIÓN DE VELOCIDADES Y DEL NEUTRO.....	157
4.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	157
	CONCLUSIONES:	158
	RECOMENDACIONES:.....	160
	BIBLIOGRAFÍA:	161
	ANEXOS	162

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos y las exigencias actuales; y al considerar la preparación técnico – académica de un Ingeniero Automotriz de la ESPE sede Latacunga, ponga en práctica todos los conocimientos adquiridos y este en la capacidad de resolver un sinnúmero de problemas en cualquier campo, por tal motivo nos ha permitido responder al deseo de realizar una investigación para la automatización de la caja de cambios lo cual es de gran importancia en el campo automotriz, ya que disminuye los esfuerzos del conductor, mejora la comodidad al conducir, incrementa la ergonomía en el vehículo; optimizando así la maniobrabilidad y seguridad al conducir, brindando el carácter deportivo de un cambio manual.

La mayoría de vehículos del país utilizan caja de velocidades mecánicas con accionamientos de marchas a través de mecanismos, y solo en vehículos con elevados costos y de marca reconocidas como Peugeot, Renault, Citroen, Honda, etc. desarrollados para Europa tienen incorporados sistemas automatizados de selección de marchas, por lo tanto el desarrollar un dispositivo que permita automatizar la selección de velocidades en los vehículos que existen en nuestro mercado será de gran ayuda.

A la par del diseño y la implementación del mecanismo que va a permitir realizar el cambio de marchas desde el volante por medio de pulsadores, se tendrá un indicador cuya función será la de advertir al conductor el momento que deba realizar un cambio de marcha; consiguiendo de esta manera mejorar la conducción y rendimiento del vehículo.

Este trabajo de investigación consta de cuatro capítulos.

El primer capítulo muestra la información básica sobre parámetros características y definiciones de la operación de las cajas de cambios manuales.

El segundo capítulo se trata los temas relacionados con los elementos y componentes eléctricos y electrónicos tales como la descripción de los actuadores; la descripción, funcionamiento y aplicaciones de los microcontroladores.

El tercer capítulo se enfoca en las consideraciones de diseño mecánico el cual trata las diferentes etapas desde la determinación de las fuerzas, la concepción del mecanismo, y el mecanismo definitivo. Finalmente el diseño electrónico del proyecto, así como se detalla la las señales consideradas y su procesamiento, diagramación de los circuitos electrónicos y la simulación.

El cuarto capítulo presenta la ilustración de la instalación y pruebas del mecanismo de automatización de cambio de marchas, en el vehículo "CORSA EVOLUTION".

I. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE LAS CAJAS DE CAMBIO MANUALES.

1.1 GENERALIDADES: TÉRMINOS Y DEFINICIONES.

1.1.1 DESCRIPCIÓN.

La caja de cambios es un mecanismo situado como elemento de transmisión entre el motor y las ruedas, (y más concretamente entre la transmisión y el embrague), cuya función es la de adecuar el par motor a la resistencia que presenta el vehículo bajo ciertas condiciones de marcha, variando la relación entre el número de revoluciones del motor y el de las ruedas motrices del vehículo, e incluso invirtiendo el sentido de giro de las mismas cuando sea necesario. Se comporta por tanto, como un transformador de velocidad y un convertidor mecánico de par.

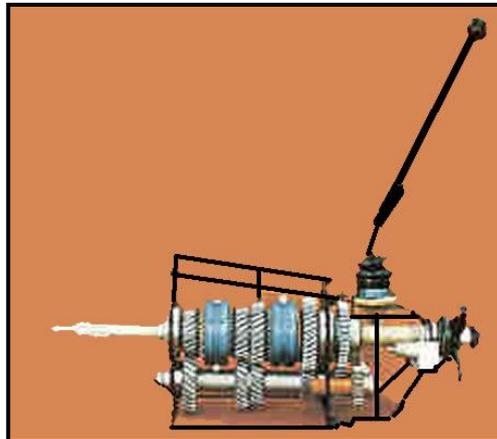


Figura 1.1. Caja de cambios manual.

1.1.2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.

Para comprender bien el concepto de las reducciones, que es, en definitiva lo que hace la caja de cambios de velocidades, es indispensable tener un concepto bien claro de lo que es la potencia y el par motor, ya que

ellos tienen mucho que ver con el tema de la transmisión que ahora nos interesa.

1.1.2.1 POTENCIA.

El primer concepto con el que hemos de contar en toda participación física del movimiento, es con el término *fuerza* y, es esta todo aquello que produce o tiende que producir un movimiento o es capaz de modificar su velocidad o dirección.

Se define *trabajo* como el resultado de multiplicar la fuerza por el camino recorrido de un cuerpo cuyo peso se conoce y sobre el cual se ejerce la acción de esta fuerza.

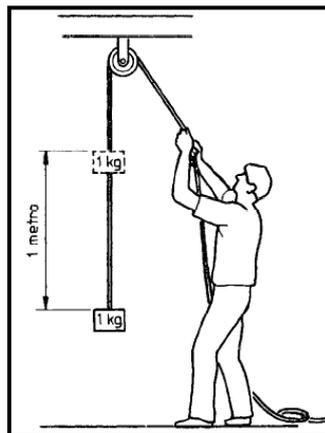


Figura 1.2. Ejemplo de potencia.

El concepto de *potencia* aparece cuando al concepto de fuerza y el de trabajo añadimos el factor tiempo, es decir, la potencia está en relación con el tiempo empleado en realizar el trabajo. Cuanto menos tiempo se emplee mayor será la potencia, **figura 1.2.**

La potencia se descompone de la siguiente manera:

$$H = \frac{F \times e}{t}$$

H = potencia.
F = fuerza.

$$H = \frac{T}{t}$$

T = trabajo
e = espacio.

$$H = F \times v$$

t = tiempo.
v = velocidad.

De aquí se deduce la regla de oro de la Mecánica, la que dice que *para una misma potencia, lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad.*

1.1.2.2 PAR MOTOR.

El concepto de par motor está estrechamente relacionado con el concepto de potencia. Puede definirse el par motor como aquel momento de una fuerza que resulta de considerar la fuerza aplicada por el brazo de palanca que se establece entre este punto de aplicación y el eje de giro.

En la **figura 1.3** tenemos la presencia de un cigüeñal por medio del cual se transforma el movimiento rectilíneo en movimiento circular. Pero ello se logra por medio de un codo en el que se establece el brazo de palanca entre A y B.

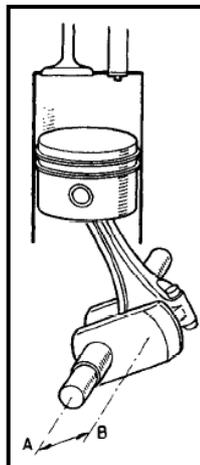


Figura 1.3. Cigüeñal.

Finalmente el nombre de par es la forma como se designa en Mecánica al hecho de que exista un par de fuerzas, es decir que es la acción de dos fuerzas iguales y paralelas pero de un sentido opuesto una con respecto a la otra (**figura 1.4.**).

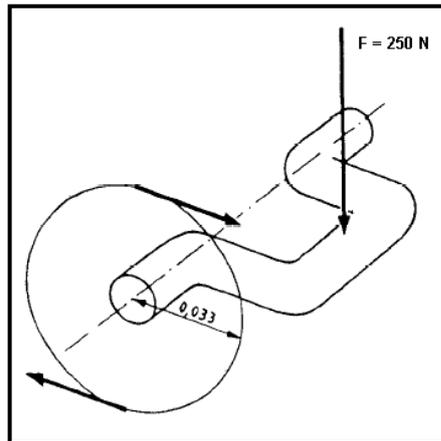


Figura 1.4. Giro del cigüeñal.

1.1.3 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.

El par que genera el motor es inferior al necesario en las ruedas para vencer las resistencias a la marcha (par resistente), pero el número de revoluciones del motor es superior al necesario en las ruedas, de forma que introduciendo las reducciones oportunas en la transmisión se consigue multiplicar el par a costa de reducir la velocidad de giro, equilibrando las posibilidades del motor

con las necesidades en las ruedas. Como el margen es muy amplio, se recurre a introducir una reducción parcial fija en el diferencial, completando la reducción total necesaria en cada caso con varias reducciones en la caja de cambios, de las cuales se selecciona la mejor que se adapte a las necesidades del momento.

El motor puede funcionar de forma eficiente entre unos límites de revoluciones, a los que proporciona un par aceptable; por otra parte, el par resistente es variable, aumentando con la velocidad del vehículo y en la subida de pendientes. La misión del cambio consiste en adecuar el par motor al par resistente, de manera que el motor gire dentro de los límites de par aceptable, independientemente de la velocidad del vehículo.

1.1.4 DETERMINACIÓN DE LAS 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. La caja de cambios es un elemento imprescindible ya que la falta de elasticidad de los motores térmicos impide su utilización a bajas revoluciones con un rendimiento aceptable.

Al representar las relaciones de una caja de cambios de un vehículo sobre un gráfico (**figura 1.5.**), 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.

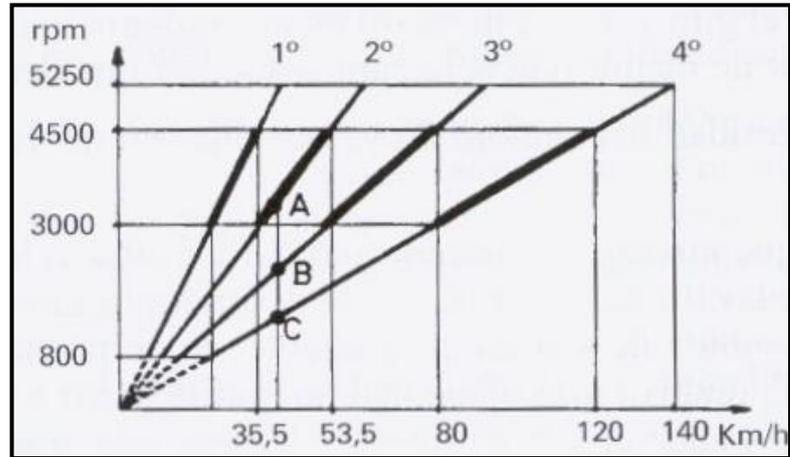


Figura 1.5. Relaciones de una caja de cambios.

Hay que subrayar que la relación más corta de una caja de velocidades, la primera, ha de tener una desmultiplicación capaz de multiplicar el par motor lo suficiente para que el vehículo pueda superar una pendiente del 25%. Asimismo, a de ser capaz de arrancar en una rampa del 15% con una aceleración de $0,5 \text{ m/s}^2$.

1.1.5 RELACIÓN 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 **figura 1.6.**, 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.

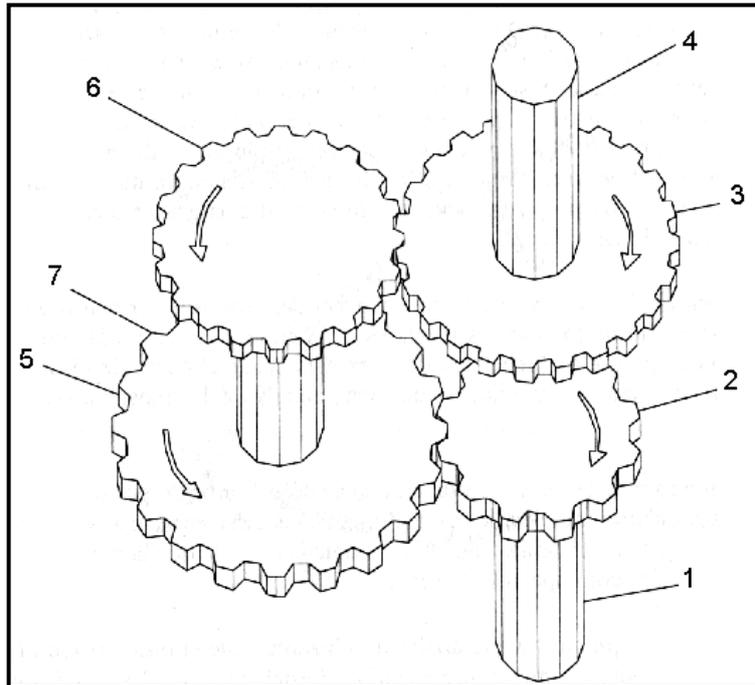


Figura 1.6. Trenes de engranajes.

El eje por que sale el movimiento del motor (1) recibe el nombre de eje conductor o eje primario, y el eje por el que sale el movimiento de la caja de velocidades (4) para ser trasmitido al diferencial recibe el nombre de eje conducido o eje secundario. El eje en que van montadas las ruedas auxiliares para la reducción de velocidad de giro recibe el nombre de eje intermediario.

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.

1.1.6 CAMBIO MECÁNICO.

En la actualidad las cajas de cambio en las transmisiones no automáticas utilizadas en vehículos de turismo son de engranajes helicoidales de toma constante y sincronizada.

Se puede distinguir también entre diferentes tipos de transmisiones, según las disposiciones más habituales del motor y del eje de transmisión, se distinguen:

- Motor longitudinal delantero y tracción delantera.
- Motor longitudinal delantero y tracción trasera.
- Motor transversal delantero y tracción delantera.
- Motor trasero y tracción trasera.
- Motor delantero y tracción a los dos ejes.

Cada disposición del sistema de tracción utilizado, emplea cajas de cambio que aunque no difieren en esencia en su funcionamiento, si difieren al incorporar o no en el mecanismo diferencial y la reducción final.

Otro de los elementos diferenciadores, lo podría constituir el tipo o sistema de sincronización para igualar el giro de los diferentes ejes a la hora de seleccionar una velocidad, así como el sistema de enclavamiento de la velocidad seleccionada o la propia selección de la velocidad.

1.1.7 MECANISMOS DE CAMBIO SINCRONIZADO.

La mayor parte de los automóviles modernos están equipados con una transmisión de tipo de cambio sincronizado.

Se llama cambio sincronizado porque es fundamentalmente un dispositivo que permite que dos ruedas que van a engranar, igualen sus velocidades de giro antes de que el engrane se produzca, es decir una marcha no puede conectarse fácilmente y sin ruido nada más que cuando exista sincronismo entre la velocidad del manguito de conexión o de cambio y la rueda de la velocidad a que se quiere cambiar. Pequeños embragues de fricción, generalmente embragues cónicos, al meter una marcha establecen la necesaria sincronización entre el manguito de conexión y la correspondiente rueda. Mediante esta sincronización se facilita el cambio y no se daña el mecanismo y tampoco no se necesita hacer el doble embrague. Se tiene así en situaciones difíciles y peligrosas y también reducir en las cuestas abajo, la posibilidad de un cambio rápido y seguro.

Esta labor se realiza por medio de rozamiento, uniendo el collar **d** (rojo) y el anillo **b**, los cuales están unidos respectivamente al manguito de acoplamiento **h** y al piñón del engranaje **a**, como se indica en la **figura 1.7**.

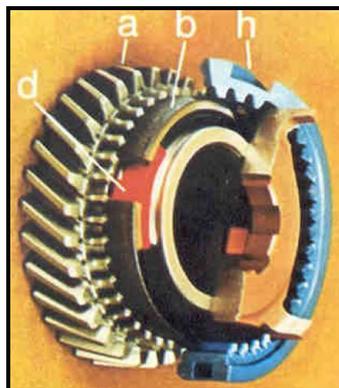


Figura 1.7. Conjunto de sincronización.

Todos los dispositivos de sincronización son sincronizaciones de bloqueo. Esta sincronización de bloqueo hace que sea imposible meter una velocidad antes de haberse obtenido el sincronismo entre el manguito de conexión y la rueda

correspondiente. Una vez obtenido el sincronismo cesa el bloqueo y la velocidad entra sin ruido alguno (**figura 1.8.**).

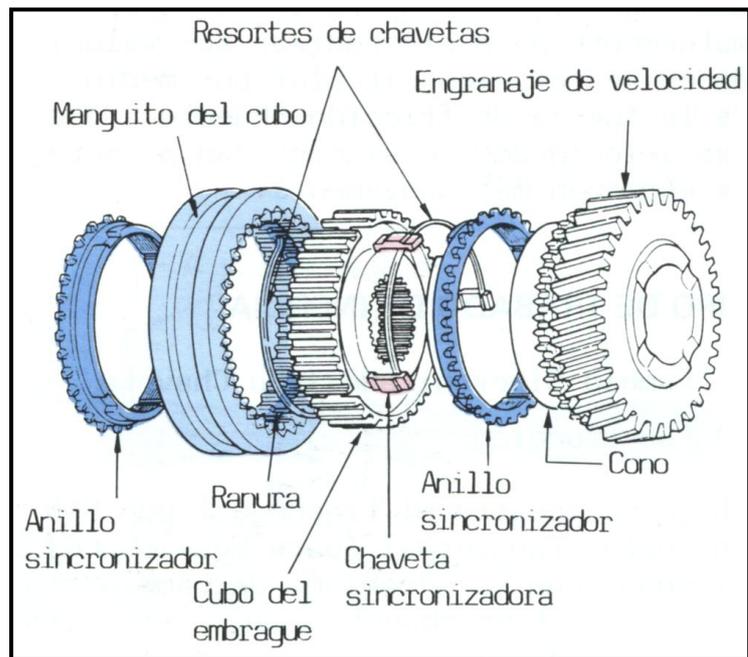


Figura 1.8. Mecanismo de sincronización.

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VEHÍCULO.

Antes de comenzar a dar explicación alguna sobre la caja de cambios original, se va a hacer una pequeña descripción del vehículo sobre el que se ha llevado a cabo el nuevo diseño.



Figura 1.9. Vehículo Chevrolet Corsa Evolution.

Se trata de un vehículo Chevrolet Corsa Evolution 1400 cc 2006 como se muestra en la **figura 1.9**. Sus especificaciones técnicas son las siguientes:

MOTOR:

Tabla 1.1. Características del motor.

Tipo	Transversal delantero
Número de cilindros	4 en línea
Secuencia de encendido	1-3-4-2
Diámetro interior del cilindro [mm]	77,6
Carrera del émbolo [mm]	73,4
Relación de compresión	9,4:1
Cilindrada [cc]	1.389
Revolución de ralentí [rpm]	850±50
Potencia máxima neta	62 kw (84cv) a 6.000 rpm
Momento de fuerza (par motor) máximo neto	114 N.m @ 3.000 rpm

TRANSMISIÓN:

Tabla 1.2. Características de la transmisión.

Número de marchas de avance	5
Tipos de dientes de engranajes	Helicoidales
Capacidad de lubricante	1,6 [litros]
Clase de lubricante	SAE 80 RTL

SISTEMA DE COMBUSTIBLE:

Tabla 1.3. Características del sistema de combustible.

Tipo	Inyección MPFI
Capacidad [litros]	48
Revolución de corte [rpm]	6.400

SUSPENSIÓN:

Tabla 1.4. Características del sistema de suspensión.

Delantero	Independiente, Mcpherson. Amortiguadores gas presurizado. Resortes helicoidales. Barra estabilizadora.
Trasero	Semi-independientes. Amortiguadores gas presurizado. Resortes tipo barril. Barra estabilizadora.

FRENOS:

Tabla 1.5. Especificaciones Técnicas (Frenos).

Tipo	Hidráulico, con dos circuitos independientes cruzados y auxiliar en vacío
Delantero	Disco ventilado
Trasero	Tambor
Freno de estacionamiento	Mecánico, actuando en las ruedas traseras
Fluido utilizado	DOT 4; 0,45 [litros]

DIRECCIÓN:

Tabla 1.6. Especificaciones Técnicas (Dirección).

Tipo	Hidráulica con Piñón y cremallera
Diámetro de giro [m]	9,8
Reducción total	24,1:1
Numero de giros (tope a tope)	4,3

EMBRAGUE:

Tabla 1.7. Especificaciones Técnicas (Embrague).

Tipo	Disco en seco con un solo plato de accionamiento
Tipo de plato de embrague	Muelle de diafragma
Control del embrague	Con accionamiento hidráulico, auto ajustable

1.3 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA CAJA DE CAMBIOS MANUAL DEL VEHÍCULO.

1.3.1 CONJUNTO DE ENGRANAJES.

La caja está formada por cinco parejas de engranajes cilíndricos helicoidales exteriores, una para cada una de las relaciones de cambio. Además cuenta con marcha atrás que dispone de un par de engranajes cilíndricos rectos y uno adicional para el cambio de giro. Son de toma constante y con sincronizadores (**figura 1.10**).

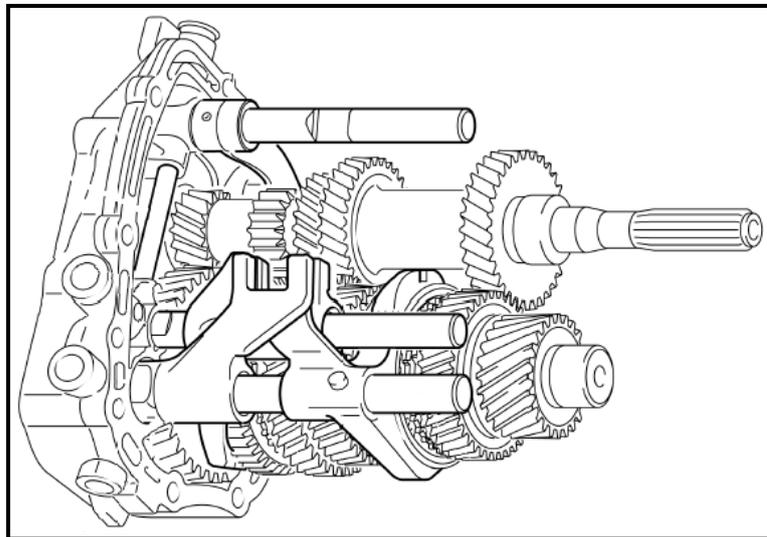


Figura 1.10. Conjunto de engranajes.

Dispone de dos ejes:

- Eje primario o impulsor: es donde llega la fuerza del motor. En él se sitúan los piñones (**Figura 1.11**).

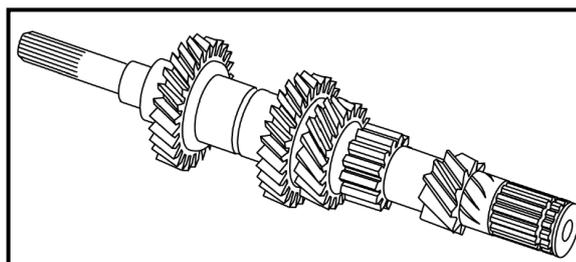


Figura 1.11. Eje primario.

- Eje secundario: es la salida del cambio donde se encuentran los diferentes engranajes para las marchas y sus respectivos conjuntos sincronizadores. (Figura 1.12).

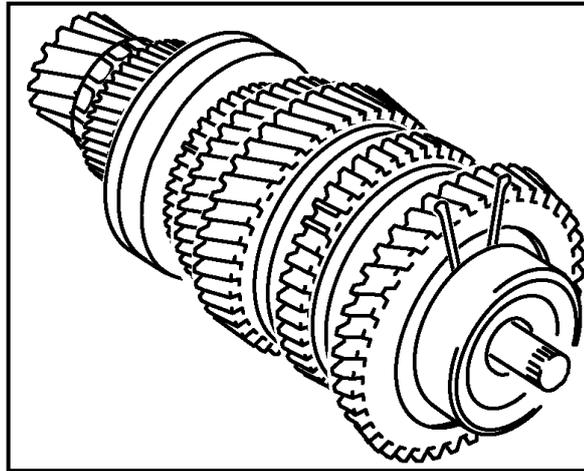


Figura 1.12. Eje secundario.

En la **tabla 1.8.** se muestran las diferentes reducciones, la relación se hace mediante los dos piñones que intervienen en cada marcha, y la relación del diferencial mediante el piñón de ataque y la corona.

CAJA DE CAMBIOS – REDUCCIONES:

Tabla 1.8. Reducciones de la caja de cambios.

1 ^a	3,73
2 ^a	2,14
3 ^a	1,41
4 ^a	1,12
5 ^a	0,89
Marcha atrás	3,31
Diferencial (reducción)	3,94

1.3.2 MANDO DE SELECCIÓN.

Dentro de la tapa de control de cambios se encuentra varios elementos móviles para transmitir los diferentes movimientos para realizar el cambio de cada marcha.

TAPA DE CONTROL DE CAMBIOS:

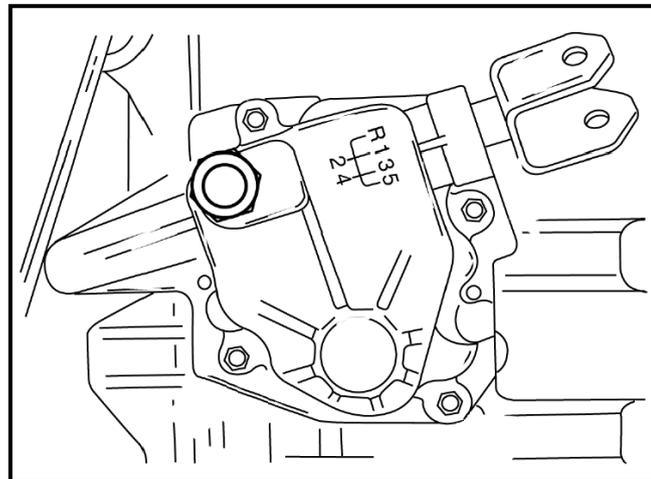


Figura 1.13. Tapa de control de cambios.

CONTROL DE CAMBIOS: El control de cambios (**figura 1.14.**) se lo realiza mediante la palanca de selección (6), que transmite el movimiento al dedo esférico (12) el cual mueve a la palanca intermediaria (17); la palanca de selección (6) la cual tiene dos movimientos el primero gira a la izquierda o a la derecha y el segundo movimiento es axial, es decir se empuja o jala para la selección de la marcha.

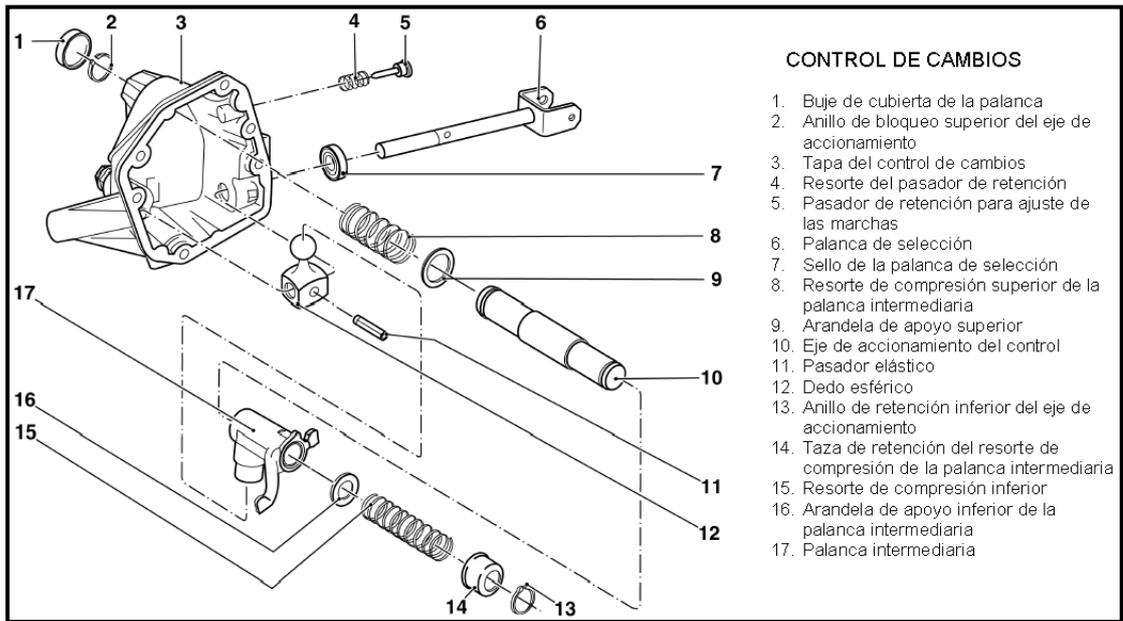


Figura 1.14. Control de cambios.

1.3.3 MECANISMO INTERNO DEL SISTEMA DE CAMBIOS:

Este mecanismo recibe el movimiento transmitido por la palanca intermedia (17) (figura 1.14) y dirige el desplazamiento a cada una de las horquillas, según la elección de la marcha; las cuales empujan un conjunto de sincronización para que engrane fácilmente la marcha.

SISTEMA DE CAMBIOS:

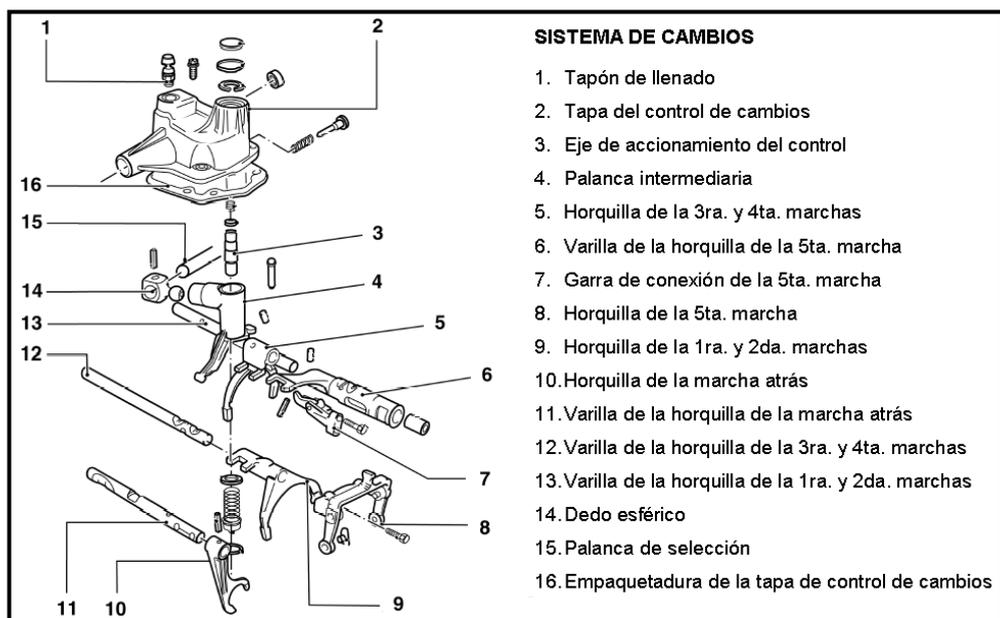


Figura 1.15. Sistema de cambios.

VARILLAS, HORQUILLAS Y BLOQUEADORES DEL SISTEMA DE CAMBIOS:

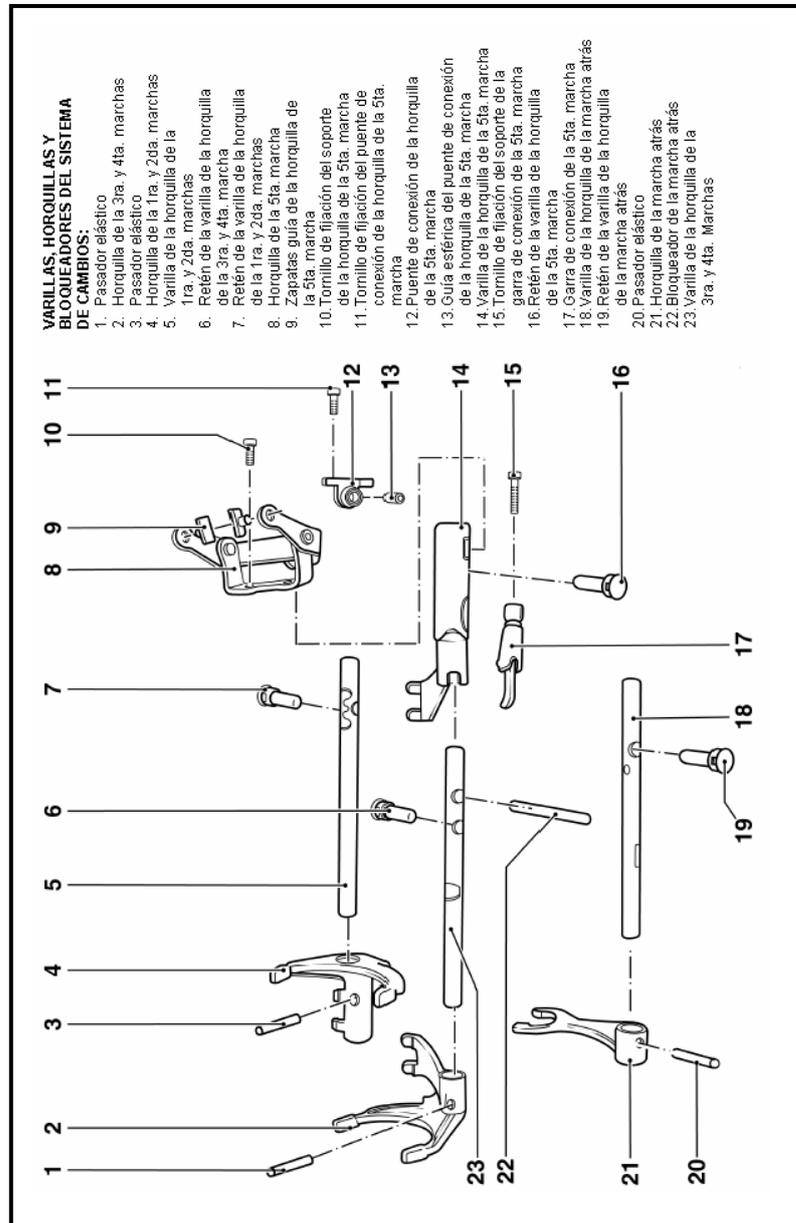


Figura 1.16. Varillas, Horquillas y Bloqueadores del sistema de cambios.

VARILLAJE Y HORQUILLAS:

- A.** Varilla de mando del engranaje de la 3ra./ 4ta..
- B.** Horquilla de cambio del engranaje de la 3ra./4ta.
- C.** Horquilla de cambios del engranaje de la 5ta..
- D.** Varilla de mando del engranaje de la 1ra./ 2da..
- E.** Horquilla de cambios del engranaje de la 1ra./ 2da..
- F.** Pasador de retención (bloqueador de la marcha atrás).
- G.** Horquilla de cambios del engranaje de la marcha atrás.
- H.** Varilla de mando del engranaje de la marcha atrás.

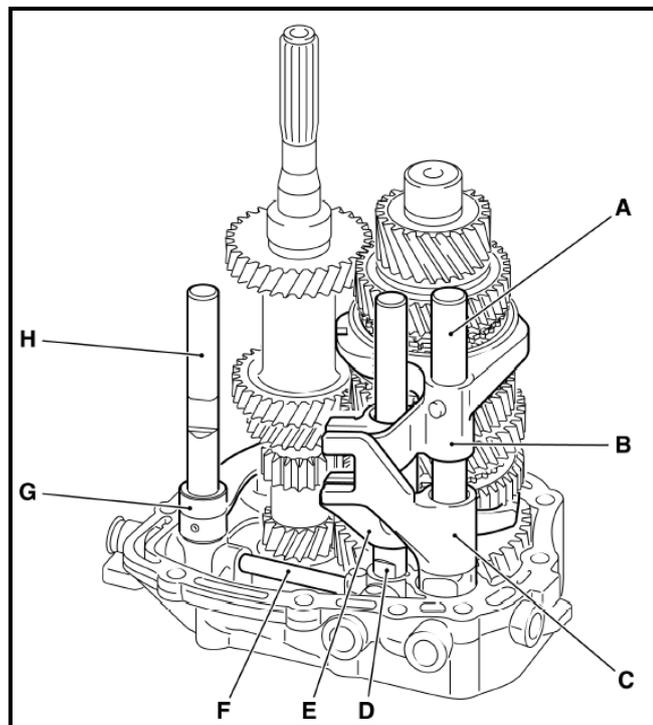


Figura 1.17. Varillas y Horquillas

1.3.4 CONJUNTO DE SINCRONIZACIÓN:

I CONJUNTO DE SINCRONIZACIÓN DE LA 1RA. Y 2DA. MARCHAS:

- A. Resorte de retención (anterior) del conjunto de sincronización.
- B. Manguito de encastre.
- C. Cuerpo de sincronización.
- D. Anillos de retención
- E. Resorte de retención (posterior).

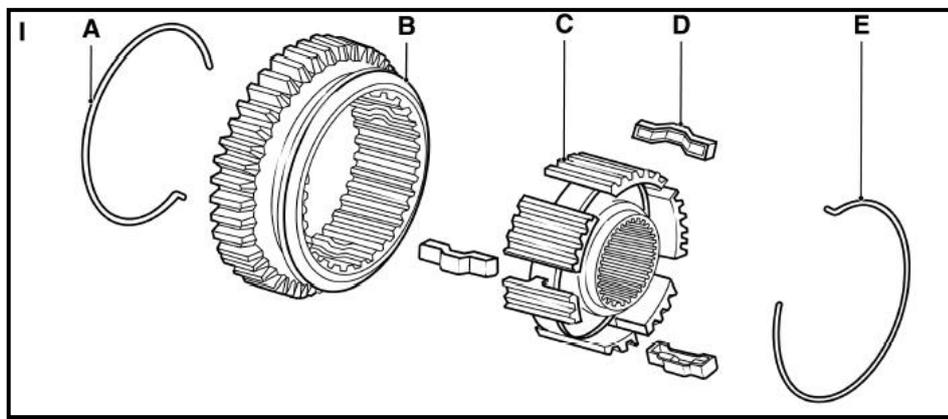


Figura 1.18. Conjunto de sincronización de 1ra. Y 2da. Marchas.

PIEZAS DEL CONJUNTO DE LOS ENGRANAJES DE LA 1RA. Y 2DA. MARCHAS CON TRES CONOS:

- A. Anillo de sincronización anterior
- B. Anillo separador (cono de acero)
- C. Anillo de sincronización posterior
- D. Engranaje

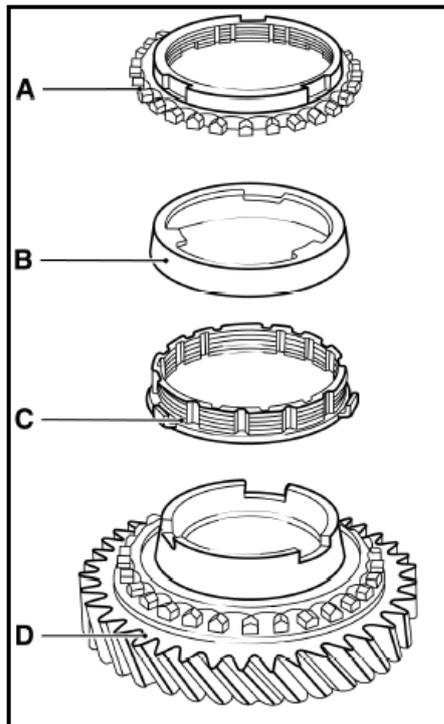


Figura 1.19. Piezas del conjunto de engranajes de 1ra. Y 2da. Marchas.

1.3.5 DIFERENCIAL:

1. Engranaje satélite
2. Engranaje planetario
3. Sello lateral de la transmisión (lado izquierdo)
4. Anillo de sello del manguito de ajuste de los cojinetes
5. Manguito de ajuste de los cojinetes
6. Pista exterior del cojinete de la caja del diferencial
7. Cojinete de la caja del diferencial
8. Caja de la transmisión
9. Sensor del velocímetro
10. Tornillo de fijación del velocímetro
11. Sello lateral de la transmisión (lado derecho)
12. Empaquetadura de la tapa del diferencial
13. Tapa del diferencial
14. Tornillo de fijación de la tapa
15. Bloqueo del manguito de ajuste
16. Tornillo de fijación del bloqueo del manguito de ajuste

- 17. Pista exterior del cojinete de la caja del diferencial
- 18. Cojinete de la caja del diferencial
- 19. Anillo impulsor del sensor de velocidad
- 20. Tornillo de fijación de la corona
- 21. Corona
- 22. Caja del diferencial
- 23. Bloqueo del eje de los engranajes satélites
- 24. Capa de poliamida
- 25. Engranaje planetario
- 26. Engranaje satélite
- 27. Eje de los engranajes satélites
- 28. Bloqueo del eje de los engranajes satélites.

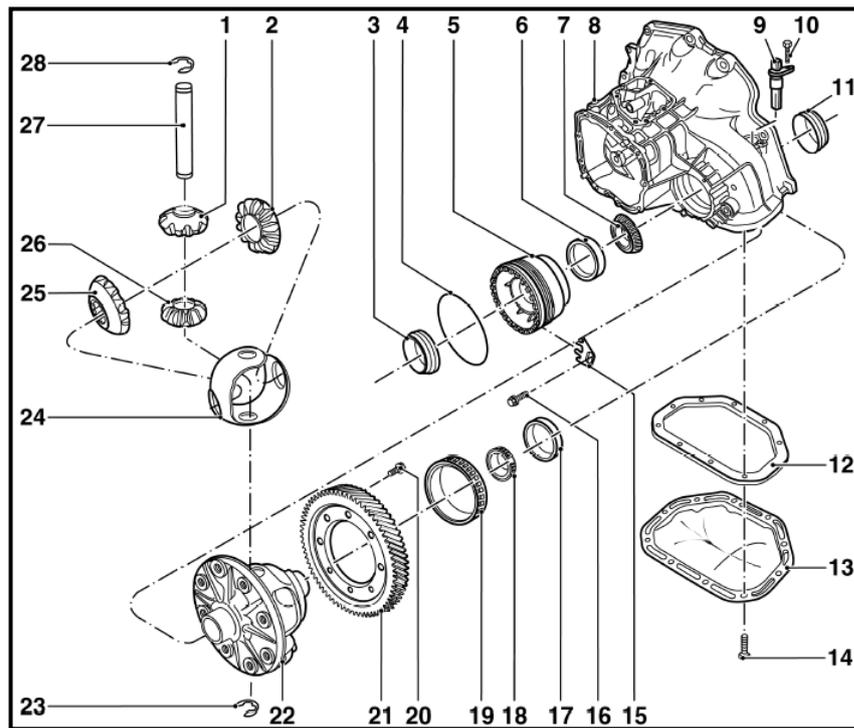


Figura 1.20. Diferencial (despiece).

Las explicaciones e ilustraciones ofrecidas sobre el cambio de marchas han servido para profundizar en el funcionamiento de todos sus órganos, conocer sus inconvenientes, y a partir de ellos proponer el diseño más conveniente.

II. ELEMENTOS Y COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Es necesario indicar que durante el planteamiento del problema relacionado con el elemento electromecánico principal, que sería utilizado para realizar la automatización del cambio de marchas en el vehículo se presentó una primera posibilidad que estaba dirigida a utilizar solenoides/actuadores; sin embargo al ser un proyecto de investigación y de diseño, se consideró como alternativas de la primera opción – solenoide/actuadores- los siguientes elementos electromecánicos: motores pasa a paso y motores eléctricos.

Siendo indispensable justificar las razones por las cuales se va a elegir uno u otro elemento electromecánico, se considera necesario detallar el principio de funcionamiento, tipos o clases, sistema de control, características y aplicaciones convencionales en los vehículos, de los solenoides/actuadores, motores paso a paso y motores eléctricos.

Luego de este análisis comparativo de las ventajas y desventajas que presentan los tres elementos electromecánicos mencionados en el párrafo anterior, se elegirá cual brinda mayores prestaciones para la realización del presente proyecto.

2.1 ACTUADORES.

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir ya sea de energía eléctrica, neumática o hidráulica. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como: válvulas, pistones, etc.

Existen tres tipos de actuadores:

- ✓ Hidráulicos.
- ✓ Neumáticos.
- ✓ Eléctricos.

Los actuadores hidráulicos, neumáticos eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son utilizados en simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots, en automatización de sistemas y no muy recientemente en vehículos de altas prestaciones. Los servomotores CA sin escobillas se utilizaran en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento.

Por todo esto es necesario conocer muy bien las características de cada actuador y tipo para utilizarlos correctamente de acuerdo a su aplicación específica, y en este caso en particular para el diseño, construcción y correcto funcionamiento del mecanismo con el que se conseguirá la automatización del cambio de velocidades.

2.1.1 ACTUADORES HIDRÁULICOS.

Los actuadores hidráulicos, que son los de mayor antigüedad, funcionan en base a fluidos a presión. Existen dos grandes grupos:

- ✓ Cilindro hidráulico
- ✓ Motor hidráulico

2.1.1.1 CILINDRO HIDRÁULICO.

De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en dos tipos: de efecto simple y de acción doble. En el primer tipo se utiliza fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer. El segundo tipo emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones. El control de dirección se lleva a cabo mediante un solenoide.

2.1.1.2 MOTOR HIDRÁULICO.

En los motores hidráulicos el movimiento rotatorio es generado por la presión. Estos motores los podemos clasificar en dos grandes grupos: El primero es uno de tipo rotatorio en el que los engranes son accionados directamente por aceite a presión; y el segundo, de tipo oscilante, el movimiento rotatorio es generado por la acción oscilatoria de un pistón o percutor; este tipo tiene mayor demanda debido a su mayor eficiencia.

2.1.2 ACTUADORES NEUMÁTICOS.

Los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.

En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención.

2.1.3 ACTUADORES ELÉCTRICOS.

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Para nuestro diseño consideramos al solenoide como un actuador que nos podría permitir realizar el objetivo del presente proyecto.

2.1.3.1 SOLENOIDES.

En su concepción básica un solenoide es un hilo metálico enrollado en hélice sobre un cilindro, que cuando es recorrido por una corriente eléctrica, crea un campo magnético comparable al de un imán recto. Esta inducción de corriente eléctrica sobre el hilo metálico hace que el mismo se contraiga y una vez cortado el flujo eléctrico recupere su dimensión y forma normal; a los solenoides también se les conoce como pistones eléctricos los cuales solo requieren como se menciona anteriormente de una corriente eléctrica que circule el hilo o cable metálico para lo cual haría falta la utilización de un relé; en caso que se decidiera alimentarlo con CD., del mismo valor podría ser activado por una salida a transistor de un PLC o de un PIC.

SOLENOIDES EN EL VEHÍCULO.

Estos elementos realizan los trabajos o funciones que les asigna la ECU (Módulo de Control Electrónico), en base a voltajes de salida enviados por la misma, entre los actuadores que contamos en los diferentes sistemas del vehículo Chevrolet Corsa tenemos los siguientes:

- Inyectores.
- Bobina de encendido.

- Válvula Solenoide para velocidad mínima del motor. ISC - IAC.
- Válvula Solenoide de ventilación para recirculación de gases de escape VSV EGR.
- Electrobomba de combustible.
- Válvula de ventilación eléctrica para las emisiones vaporativas o canister, EVAP.

El funcionamiento del subsistema electrónico se resume de la siguiente forma: se recibe las diferentes señales de voltaje de los sensores por parte de la unidad de control, la misma que procesa dicha información con el fin de calcular el tiempo que van a permanecer operando los diferentes actuadores, de manera ilustrativa describiremos el funcionamiento de unos de estos componentes:

2.1.3.2 MOTORES PASO A PASO.

2.1.3.2.1 INTRODUCCIÓN.

Como todo motor, es en esencia un conversor electromecánico, que transforma la energía eléctrica en mecánica; pero de un modo tan peculiar que constituye en la actualidad una categoría aparte.

En efecto, mientras que un motor convencional gira libremente al aplicar una tensión comprendida dentro de ciertos límites (que se corresponden de un lado al par mínimo capaz de vencer su propia inercia mecánica, y de otro a sus propias limitaciones de potencia); el motor paso a paso está concebido de tal manera que gira un determinado ángulo proporcional a la "codificación" de tensiones aplicadas a sus entradas (4, 6, etc.). La posibilidad de controlar en todo momento esta codificación permite realizar desplazamientos angulares lo suficientemente precisos, dependiendo el ángulo de paso (o resolución angular) del tipo de motor (puede ser tan pequeño como $1,80^\circ$ hasta unos 15°). De este modo, si por ejemplo el número de grados por paso es de $1,80^\circ$, para completar una vuelta serán necesarios 200 pasos.

De la misma manera que se puede posicionar el eje del motor, es posible controlar la velocidad del mismo, la cual será función directa de la frecuencia de variación de las codificaciones en las entradas. De ello se deduce que el motor paso a paso presenta una precisión y repetitividad que lo habilita para trabajar en sistemas abiertos sin realimentación.

Puede decirse por tanto que un motor paso a paso es un elemento que transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados, ya que podremos hacer girar al motor en el sentido que deseemos y el número de vueltas y grados que necesitemos.

2.1.3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

El motor paso a paso está constituido esencialmente por dos partes: a) Una fija llamada "estator", construida a base de cavidades en las que van depositadas las bobinas que excitadas convenientemente formarán los polos norte-sur de forma que se cree un campo magnético giratorio. b) Una móvil, llamada "rotor" construida mediante un imán permanente, con el mismo número de pares de polos, que el contenido en una sección de la bobina del estator; este conjunto va montado sobre un eje soportado por dos cojinetes que le permiten girar libremente.



Figura 2.1 Imagen del Rotor.

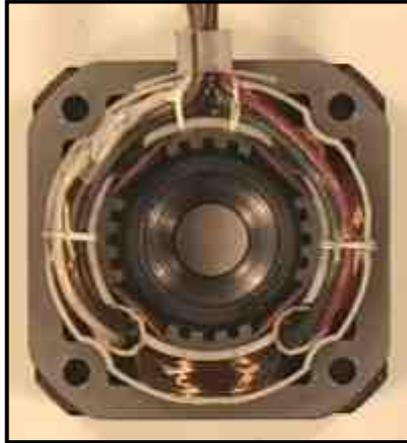


Figura 2.2. Imagen de un Estator de 4 Bobinas

Si por el medio que sea, conseguimos excitar el estator creando los polos N-S, y hacemos variar dicha excitación de modo que el campo magnético formado efectúe un movimiento giratorio, la respuesta del rotor será seguir el movimiento de dicho campo, produciéndose de este modo el giro del motor.

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador. Los motores paso a paso en general, basan su funcionamiento en las fuerzas ejercidas por un campo electromagnético y creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas.

2.1.3.2.3 TIPOS DE MOTORES PASO A PASO

MOTORES BIPOLARES – UNIPOLARES: Hay dos tipos básicos de motores Paso a Paso, los BIPOLARES que se componen de dos bobinas y los UNIPOLARES que tienen cuatro bobinas. Externamente se diferencian entre sí por el número de cables. Los bipolares solo tienen cuatro conexiones dos para cada bobina y los unipolares que normalmente presentan seis cables, dos para cada bobina y otro para alimentación de cada par de éstas, aunque en algunos casos podemos encontrar motores unipolares con cinco cables, básicamente

es lo mismo, solo que el cable de alimentación es común para los dos pares de bobinas.

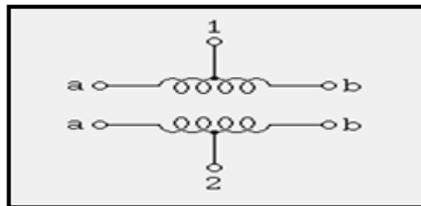


Figura 2.3. Esquema Motor UNIPOLAR

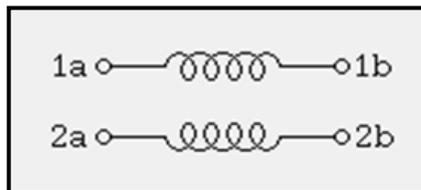


Figura 2.4. Esquema Motor BIPOLAR

MOTORES UNIPOLARES: En este tipo de motores, todas las bobinas del estator están conectadas en serie formando cuatro grupos. Esta a su vez, se conectan dos a dos, también en serie, y se montan sobre dos estatores diferentes, tal y como se aprecia en la **figura 2.5.**, según puede apreciarse en dicha figura, del motor paso a paso salen dos grupos de tres cables, uno de los cuales es común a dos bobinados. Los seis terminales que parten del motor, deben ser conectados al circuito de control, el cual, se comporta como cuatro conmutadores electrónicos que, al ser activados o desactivados, producen la alimentación de los cuatro grupos de bobinas con que está formado el estator. Si generamos una secuencia adecuada de funcionamiento de estos interruptores, se pueden producir saltos de un paso en el número y sentido que se desee.

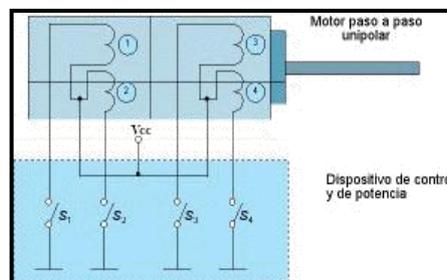


Fig. 2.5. Control de Motos paso a paso Unipolar

MOTORES BIPOLARES: En este tipo de motores las bobinas del estator se conectan en serie formando solamente dos grupos, que se montan sobre dos estatores, tal y como se muestra en la **figura 2.6**.

Según se observa en el esquema de este motor salen cuatro hilos que se conectan, al circuito de control, que realiza la función de cuatro interruptores electrónicos dobles, que nos permiten variar la polaridad de la alimentación de las bobinas. Con la activación y desactivación adecuada de dichos interruptores dobles, podemos obtener las secuencias adecuadas para que el motor pueda girar en un sentido o en otro.

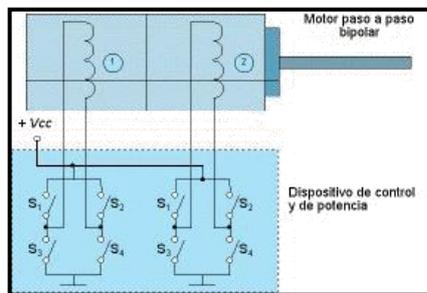


Fig. 2.6. Control de motor Bipolar

2.1.3.2.4 CONTROL DE LOS MOTORES PASO A PASO

Para realizar el control de los motores paso a paso, es necesario generar una secuencia determinada de impulsos.

Además es necesario que estos impulsos sean capaces de entregar la corriente necesaria para que las bobinas del motor se exciten, por lo general, el diagrama de bloques de un sistema con motores paso a paso es el que se muestra en la **figura 2.7**.

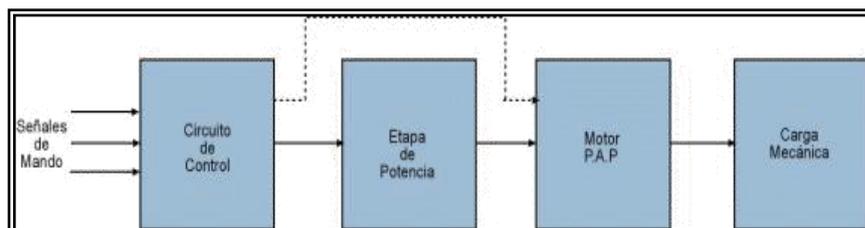


Fig. 2.7. Diagrama de bloques de un sistema con motor paso a paso

2.1.3.2.5 APLICACIONES DE LOS MOTORES PASO A PASO

- Taxímetros.
- Disk-drive.
- Impresoras.
- Plotters.
- Brazo y Robots completos.
- Patrón mecánico de velocidad angular.
- Registradores XY.
- Relojes Eléctricos.
- Casetes Digitales.
- Control Remoto.
- Máquinas de escribir electrónicas.
- Manipuladores.
- Posicionamiento de válvulas en controles industriales.
- Posicionamiento de piezas en general.
- Bombas impelentes en aplicaciones de electromedicina.

2.1.3.2.6 CARACTERÍSTICAS:

- Larga vida.
- Velocidad de respuesta elevada ($<1\text{ms}$).
- Posicionamiento dinámico preciso.
- Reinicialización a una posición preestablecida.
- Frecuencia de trabajo variable.
- Funcionamiento sincrónico bidireccional.
- Sincronismo unidireccional en régimen de sobre velocidad.
- Carencia de escobillas.
- Insensibilidad al choque en régimen dinámico, a la regulación de la fuente de alimentación.

2.1.3.3 MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE CONTINUA.

2.1.3.3.1 INTRODUCCIÓN.

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar. Esto se debe entre otra de sus características a su dimensión, la misma que puede ir desde motores tan pequeños para máquinas copadoras e ir hasta motores capaces de permitir el movimiento de grandes trenes eléctricos.



Fig. 2.8. Motores eléctricos pequeños.

Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades de servicio, desde arrancar, acelerar, mover, o frenar, hasta sostener y detener una carga. Estos motores se fabrican en potencias que varían desde una pequeña fracción de caballo hasta varios miles, y con una amplia variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

2.1.3.3.2 CARACTERÍSTICAS.

Un motor eléctrico contiene un número mucho más pequeño de piezas mecánicas que un motor de combustión interna o uno de una máquina de vapor, por lo que es menos propenso a los fallos. Los motores eléctricos son los más ágiles de todos en lo que respecta a variación de potencia y pueden

pasar instantáneamente desde la posición de reposo a la de funcionamiento al máximo. Su tamaño es más reducido y pueden desarrollarse sistemas para manejar las ruedas desde un único motor, como en los automóviles.

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión:

- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Se pueden construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 80%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).
- La gran mayoría de los motores eléctricos son máquinas reversibles pudiendo operar como generadores, convirtiendo energía mecánica en eléctrica.

2.1.3.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

La conversión de energía en un motor eléctrico se debe a la interacción entre una corriente eléctrica y un campo magnético. Un campo magnético, que se forma entre los dos polos opuestos de un imán, es una región donde se ejerce una fuerza sobre determinados metales o sobre otros campos magnéticos. Un motor eléctrico aprovecha este tipo de fuerza para hacer girar un eje, transformándose así la energía eléctrica en movimiento mecánico.

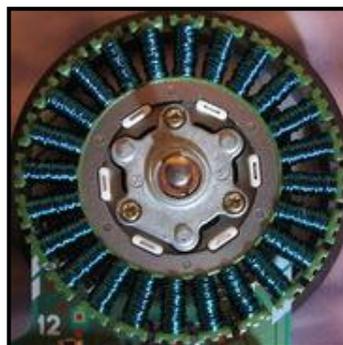


Figura 2.9. Rotor de un motor eléctrico.

2.1.3.3.4 TIPOS DE MOTORES ELÉCTRICOS.

En cuanto a los tipos de motores eléctricos genéricamente se distinguen motores monofásicos, que contienen un juego simple de bobinas en el estator, y polifásicos, que mantienen dos, tres o más conjuntos de bobinas dispuestas en círculo.

2.2 SELECCIÓN DEL ELEMENTO ELECTROMECAÁNICO A UTILIZARSE EN EL MECANISMO DE AUTOMATIZACIÓN DEL CAMBIO DE VELOCIDADES.

El momento de elegir el elemento electromecánico a utilizarse en el diseño y posterior construcción del mecanismo, que permitirá la automatización del cambio de velocidades, debemos considerar condiciones importantes que permitan la consecución de este proyecto.

Entre los factores a tomar en cuenta están: ventajas y desventajas que presentan los elementos electromecánicos, disponibilidad de espacio físico en el automóvil, facilidad para realizar el control del componente por medio de un microcontrolador, disponibilidad en el mercado nacional y precio del elemento electromecánico.

2.2.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÁNICOS.

La primera consideración para la selección del componente es la posibilidad o no de utilizar el mismo, considerando su principio de funcionamiento y la facilidad de adaptar todo el sistema necesario para su operación y control en el vehículo.

Analizaremos una por una las condiciones necesarias y tomadas en cuenta en la selección del componente electromecánico:

2.2.2 DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES

Para la selección del componente electromecánico que será considerado para el diseño del mecanismo, se tomó en cuenta en primer lugar la posible ubicación del mismo, así como el espacio existente en el vehículo y las dimensiones tanto del elemento electromecánico, como de los componentes indispensables para su funcionamiento.

Respecto a utilizar un mecanismo hidráulico o neumático, se presenta un problema en cuanto al diseño y posterior montaje de todo el sistema que permita su operación; para utilizar un sistema hidráulico sería necesario la implementación de una bomba que permita tener la presión suficiente para mover y accionar los componente: pistones, actuadores, etc.; de igual manera es indispensable la ubicación de un compresor en el caso de un circuito neumático.

En cuanto a los motores paso a paso y a los motores eléctricos, debemos recalcar que sus dimensiones son menores y el circuito, en este caso eléctrico para su utilización ocupa menor espacio, sin embargo los motores paso a paso son mucho más grandes que los motores eléctricos.

2.2.3 FACILIDAD PARA REALIZAR EL CONTROL DEL COMPONENTE POR MEDIO DE UN MICROCONTROLADOR

Cada componente electromecánico necesita un mecanismo de control o componente electrónico capaz de procesar la información y dar órdenes de las cuales dependerá el correcto funcionamiento del mecanismo. Es fundamental considerar si el componente electromecánico puede ser controlado por un microcontrolador ya que dependerá de esta posibilidad para la realización del diseño de todo el circuito eléctrico.

Para el control de un circuito hidráulico y neumático, y por lo complejo de su estructura y la cantidad de elementos de control y de ejecución es necesario un

PLC para tener un correcto procesamiento de datos y de esta información realizar el control y ejecución de los componentes electromecánicos.

Es mucho más práctico el control de los motores paso a paso y de los motores eléctricos por medio de un microcontrolador; la programación para el control y la ejecución de órdenes es más corto.

2.2.4 DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO NACIONAL Y PRECIO DEL ELEMENTO ELECTROMECAÁNICO

Respecto a la existencia de los componentes para realizar el diseño de un circuito hidráulico o neumático que nos permita la automatización del cambio de velocidades, y luego de consultar en proveedores especializados se tiene que si bien existen todos los componentes que podrían ser utilizados, algunos de ellos deberían ser importados y en otros casos se deberían realizar adaptaciones de estos componentes neumáticos o hidráulicos; y en cuanto al precio el costo final del diseño sería muy elevado.

En cuanto a los motores paso a paso, estos elementos electromecánicos son muy especializados y su adquisición se debe hacer bajo pedido para que se realice su importación, lo cual ocasiona que el precio del proyecto sea muy alto.

Los motores eléctricos son de uso más general que los componentes electromecánicos mencionados anteriormente; son parte de otras máquinas como copadoras, elevadores, impresoras, imprentas, etc.; por ende su precio y existencia en mercado son mucho más accesibles.

2.2.5 JUSTIFICACIÓN.

En base a los criterios anteriores y por la facilidad que presentan en la aplicación del presente proyecto, se ha considerado a los motores eléctricos; como los elementos electromecánicos a ser utilizados en el presente proyecto

2.3 MICROCONTROLADORES.

2.3.1 INTRODUCCIÓN.

A nivel mundial los microcontroladores están adquiriendo una presencia tal, que se podría decir que han conquistado el mundo. Se encuentran presentes en la mayor parte de nuestras actividades tanto laborales como cotidianas, a través de ellos se puede controlar el funcionamiento del vehículo y sus diferentes controles; así como el funcionamiento de computadores, centrales telefónicas, LCD's, artefactos domésticos, etc.

Los microcontroladores son circuitos integrados de alta escala, que poseen todas las características de un computador completo. Puede ser programado para que cumpla una tarea determinada a muy bajo costo. Este dispositivo recibe el nombre de controlador ya que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos.

Un controlador dispone de manera normal de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).

Es fundamental en el diseño realizar una adecuada selección del microcontrolador a ser utilizado, para lo cual nos basamos en la capacidad de las memorias, el número de líneas de Entrada y Salida, la cantidad y potencia de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento.

El microcontrolador es un sistema cerrado. Todas las partes del computador están contenidas en su interior y sólo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos, esta estructura encapsulada la podemos apreciar en el siguiente esquema.

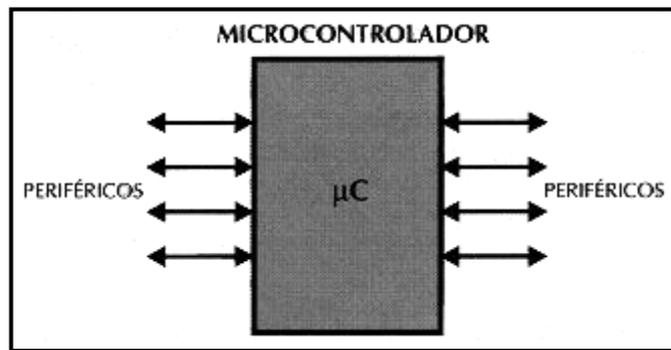


Figura 2.10. El Microprocesador.

2.3.2 VENTAJAS DEL USO DE LOS MICROCONTROLADORES.

Las ventajas que presentan los productos que tienen incorporado para su regulación un microcontrolador son las siguientes:

- **Aumento de prestaciones:** un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- **Aumento de la fiabilidad:** al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- **Reducción del tamaño en el producto acabado:** La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- **Mayor flexibilidad:** las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

Básicamente en un microcontrolador podemos hallar todos los componentes de un computador. Si montamos en el dispositivo ha ser gobernado el controlador, recibe el nombre de controlador empotrado (embedded controller).

2.3.3 APLICACIONES DE LOS MICROCONTROLADORES.

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, el sistema de arranque de nuestro coche, etc. y otras aplicaciones con las que seguramente no estaremos tan familiarizados como instrumentación electrónica, control de sistemas en una nave espacial, etc. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como, de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC.

2.3.4 TIPOS DE MICROCONTROLADORES.

2.3.4.1 ALTAIR

ALTAIR es el nombre genérico de una familia de microcontroladores de propósito general. Todos son programables directamente desde un equipo PC mediante lenguaje macro ensamblador, o bien mediante otros lenguajes disponibles (Basic, C).

Los microcontroladores ALTAIR disponen de un microprocesador de 8 bits 100% compatible a nivel de código, 256 bytes de memoria interna, 128 registros especiales de función, puertos de entrada/salida de propósito general, 111 instrucciones y posibilidad de direccionar 128 Kbytes.

2.3.4.2 INTEL

El 8051 es el primer microcontrolador de la familia introducida por Intel Corporation. La familia 8051 de microcontroladores son controladores de 8 bits capaces de direccionar hasta 64 kbytes de memoria de programa y una separada memoria de datos de 64 kbytes. El 8031 (la versión sin ROM interna

del 8051, siendo esta la única diferencia) tiene 128 bytes de RAM interna (el 8032 tiene RAM interna de 256 bytes y un temporizador adicional). El 8031 tiene dos temporizadores/contadores, un puerto serie, cuatro puertos de entrada/salida paralelas de propósito general (P0, P1, P2 y P3) y una lógica de control de interrupción con cinco fuentes de interrupciones. Al lado de la RAM interna, el 8031 tiene varios Registros de Funciones especiales (SFR) que son para control y registros de datos. Los SFRs también incluyen el registro acumulador, el registro B, y el registro de estado de programa (PSW), que contienen los Flags del CPU.

La ROM interna del 8051 y el 8052 no pueden ser programados por el usuario. El 8751 y el 8752 son las versiones (EPROM) del 8051 y el 8052. Estos pueden ser programados por los usuarios. También incluyen más memoria, más puertos, convertidores análogo-digital; más temporizadores, más fuentes de interrupción, watchdog timers, y subsistemas de comunicación en red. Todos los microcontroladores de la familia usan el mismo conjunto de instrucciones, el MCS-51. Las características mejoradas son programadas y controladas por SFRs adicionales.

2.3.4.3 SIEMENS

El Siemens SAB80C515 es un miembro mejorado de la familia 8051 de microcontroladores. El 80C515 es de tecnología CMOS que típicamente reduce los requerimientos de energía comparado a los dispositivos no-CMOS. Las características que tiene frente al 8051 son más puertos, un versátil convertidor análogo a digital, un optimizado Timer 2, un watchdog timer, y modos de ahorro de energía sofisticados. El 80C515 es completamente compatible con el 8051. Esto es, usa el mismo conjunto de instrucciones del lenguaje assembly MCS-51.

2.3.4.4 MOTOROLA

El 68hc11 de la familia Motorola, es un potente microcontrolador de 8 bits en su bus de datos, 16 bits en su bus de direcciones, con un conjunto de instrucciones que es similar a los más antiguos miembros de la familia 68xx (6801, 6805, 6809). Dependiendo del modelo, el 68hc11 tiene internamente los siguientes dispositivos: EEPROM, RAM, digital I/O, timers, A/D converter, generador PWM, y canales de comunicación sincrónica y asincrónica (RS232 y SPI). La corriente típica que maneja es menor que 10mA.

2.3.4.5 MICROCHIP

Los microcontroladores PIC de Microchip Technology Inc. combinan una alta calidad, bajo coste y excelente rendimiento. Un gran número de estos microcontroladores son usados en una gran cantidad de aplicaciones tan comunes como periféricos del ordenador, datos de entrada automoción de datos, sistemas de seguridad y aplicaciones en el sector de telecomunicaciones.

Tanto la familia del PIC16XX como la del PIC17XX están apoyadas por un rango de usuario de sistemas de desarrollo amistosos incluso programadores, emuladores. Así mismo ambas familias están apoyadas por una gran selección de software incluyendo ensambladores, simuladores, etc.

2.3.5 ARQUITECTURA BÁSICA

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard. La arquitectura de von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

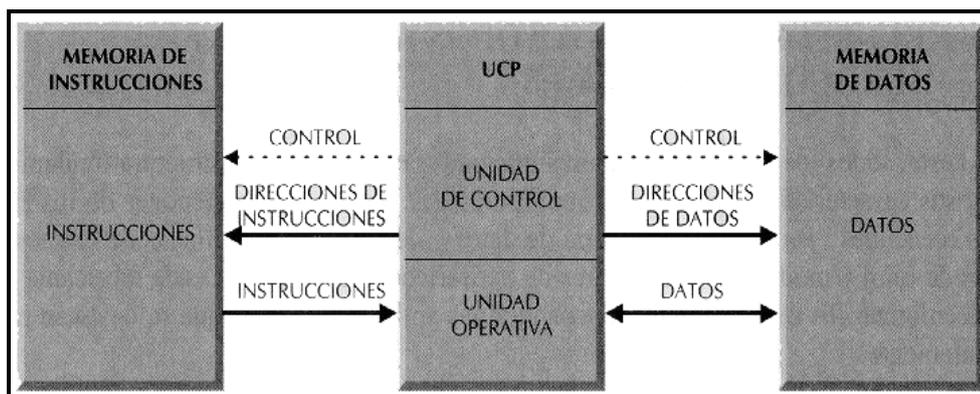


Figura 2.11. La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes una para datos y otra para las instrucciones.

La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias. Los microcontroladores PIC Peripheral Interface Controller (Controlador de Interfaz Periférico) responden a la arquitectura Harvard.

El diagrama que se muestra en la **figura 2.12.**, nos permite visualizar de mejor manera la arquitectura Harvard, de estos elementos electrónicos.

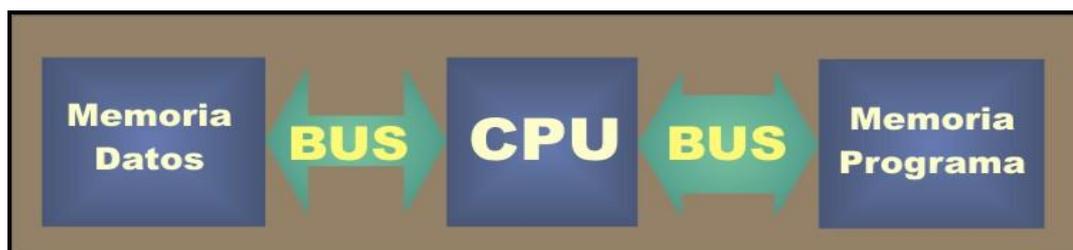


Figura 2.12. Arquitectura Harvard

2.3.5.1 EL PROCESADOR O CPU.

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software.

Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

CISC: Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución.

Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.

RISC: Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo.

La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

SISC: En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico).

2.3.5.2 MEMORIA.

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.

Hay dos peculiaridades que diferencian a los microcontroladores de los computadores personales:

- No existen sistemas de almacenamiento masivo como disco duro o disquetes.
- Como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la memoria ROM, sólo hay que almacenar un único programa de trabajo.

ROM con máscara

Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. El elevado coste del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades. La ventaja de tener los programas fundamentales almacenados en la ROM es que evita la necesidad de cargarlos en la memoria desde algún dispositivo externo. Debido a que están siempre residentes, los programas en la ROM son muy a menudo los cimientos sobre los que se construye el resto de los programas.

RAM.

Se le llama memoria de acceso aleatorio, no porque se pueda leer y escribir, sino porque puede acceder de manera no secuencial. Se dice que es

memoria volátil porque la información almacenada en ella se pierde al retirar la energía, por ello en RAM solo se guarda la información temporal.

PROM.

Estas memorias son programables, se entregan vírgenes al programador el cual mediante un programador de memorias, las programara grabando en ellas los datos que considera de interés para su trabajo. El proceso de programación es destructivo: una vez gravada, es como si fuese una ROM normal.

OTP

El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura "programable una sola vez" por el usuario. OTP (One Time Programmable). Es el usuario quien puede escribir el programa en el chip mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un PC.

La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la construcción de prototipos y series muy pequeñas.

Tanto en este tipo de memoria como en la EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido.

EPROM

Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos.

EEPROM

Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory). Tanto la programación como el borrado, se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un PC. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y la de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie.

Los microcontroladores dotados de memoria EEPROM una vez instalados en el circuito, pueden grabarse y borrarse cuantas veces se quiera sin ser retirados de dicho circuito. Para ello se usan "grabadores en circuito" que confieren una gran flexibilidad y rapidez a la hora de realizar modificaciones en el programa de trabajo.

Este tipo de memorias no pueden tratarse como si fuesen RAM, pues aunque pueden leerse igual que una ROM, su escritura es un proceso mucho más lento y que requiere voltajes y corrientes más elevados que en la lectura.

FLASH

Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña.

A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM.

La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado.

Las memorias EEPROM y FLASH son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados "en circuito", es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta. Así, un dispositivo con este tipo de memoria incorporado al control del motor de un automóvil permite que pueda modificarse el programa durante la rutina de mantenimiento periódico, compensando los desgastes y otros factores tales como la compresión, la instalación de nuevas piezas, etc. La reprogramación del microcontrolador puede convertirse en una labor rutinaria dentro de la puesta a punto.

DRAM.

Este es el tipo de RAM mas comúnmente usado, internamente está compuesto por micro capacitores de pequeña capacidad, que almacenan la información mediante la carga y la descarga. La desventaja de esta memoria es que necesita ser constantemente refrescada con nuevas cargas para evitar perdidas de información.

SRAM.

Su diseño interno esta hecho en base a flip flops basados en transistores que almacenan un 1 ó 0 cuando son polarizados en corte o saturación respectivamente permaneciendo en esta condición hasta que se cambie la información. No necesitan ser refrescados y son muy veloces.

2.3.5.3 PUERTAS DE ENTRADA Y SALIDA.

La principal utilidad de las patitas que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores.

Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

2.3.5.4 TIPOS DE OSCILADORES

Los PIC admiten cuatro tipos de osciladores externos para aplicarles la frecuencia de funcionamiento, se colocan entre las patillas OSC1 y OSC2. El tipo empleado debe especificarse en dos bits de la “Palabra de Configuración”, como se comentará más adelante. Los tipos que se pueden emplear son:

OSCILADOR RC.

Es un oscilador de bajo coste formado por una simple resistencia y un condensador. Proporciona una estabilidad mediocre de la frecuencia, cuyo valor depende de los valores de los dos elementos R-C.

OSCILADOR HS.

Es un oscilador que alcanza una alta velocidad comprendida entre 4 y 10 MHz y está basado en un cristal de cuarzo o un resonador cerámico.

OSCILADOR XT.

Es un oscilador de cristal o resonador para frecuencias estándar comprendidas entre 100 KHz y 4 MHz.

OSCILADOR LP.

Oscilador de bajo consumo con cristal o resonador diseñado para trabajar en un rango de frecuencias de 35 a 200 KHz.

2.3.6 RECURSOS ESPECÍFICOS DE LOS MICROCONTROLADORES.

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o "Timers".
- Perro guardián o "Watchdog".
- Protección ante fallo de alimentación o "Brownout".
- Estado de reposo o de bajo consumo.
- Conversor A/D.
- Conversor D/A.
- Comparador analógico.
- Modulador de anchura de impulsos o PWM.
- Puertas de E/S digitales.
- Puertas de comunicación.

2.3.7 HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES.

Uno de los factores que más importancia tiene a la hora de seleccionar un microcontrolador entre todos los demás es el soporte tanto software como hardware de que dispone. Un buen conjunto de herramientas de desarrollo puede ser decisivo en la elección, ya que pueden suponer una ayuda inestimable en el desarrollo del proyecto.

Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en el desarrollo del software de los microcontroladores son las siguientes:

Ensamblador. La programación en lenguaje ensamblador puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema. Los fabricantes suelen proporcionar el programa ensamblador de forma gratuita y en cualquier caso siempre se puede encontrar una versión gratuita para los microcontroladores más populares.

Compilador. La programación en un lenguaje de alto nivel (como el C ó el Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador. Las versiones más potentes suelen ser muy caras, aunque para los microcontroladores más populares pueden encontrarse versiones demo limitadas e incluso compiladores gratuitos.

Depuración. Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.

Simulador. Son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente es que es difícil simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el paso físico de la implementación de un modo más seguro y menos costoso, puesto que ahorraremos en grabaciones de chips para la prueba in-situ.

Placas de evaluación. Se trata de pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado y que suelen conectarse a un PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador. Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc. El sistema operativo de la placa recibe el nombre de programa monitor. El programa monitor de algunas placas de evaluación, aparte de permitir cargar programas y datos en la memoria del microcontrolador, puede permitir en cualquier momento realizar ejecución paso a paso, monitorizar el estado del microcontrolador o modificar los valores almacenados los registros o en la memoria.

Emuladores en circuito. Se trata de un instrumento que se coloca entre el PC anfitrión y el zócalo de la tarjeta de circuito impreso donde se alojará el microcontrolador definitivo. El programa es ejecutado desde el PC, pero para la tarjeta de aplicación es como si lo hiciese el mismo microcontrolador que luego irá en el zócalo. Presenta en pantalla toda la información tal y como luego sucederá cuando se coloque la cápsula.

2.4 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR PARA LA APLICACIÓN.

A la hora de escoger el microcontrolador a emplear en un diseño concreto hay que tener en cuenta multitud de factores, como la documentación y herramientas de desarrollo disponibles y su precio, la cantidad de fabricantes que lo producen y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, etc.):

2.4.1 FACTOR ECONÓMICO.

Los fabricantes de microcontroladores compiten duramente para vender sus productos. Y no les va demasiado mal ya que sin hacer demasiado ruido venden 10 veces más microcontroladores que microprocesadores.

Para que nos hagamos una idea, para el fabricante que usa el microcontrolador en su producto una diferencia de precio en el microcontrolador de algunos dólares es importante (el consumidor deberá pagar además el coste del empaquetado, el de los otros componentes, el diseño del hardware y el desarrollo del software). Si el fabricante desea reducir costes debe tener en cuenta las herramientas de apoyo con que va a contar: emuladores, simuladores, ensambladores, compiladores, etc. Es habitual que muchos de ellos siempre se decanten por microcontroladores pertenecientes a una única familia.

2.4.2 APLICACIÓN.

Previa la selección del microcontrolador ha ser utilizado es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

- **Procesamiento de datos:** puede ser necesario que el microcontrolador realice cálculos críticos en un tiempo limitado. En ese caso debemos asegurarnos de seleccionar un dispositivo suficientemente rápido para ello. Por otro lado, habrá que tener en cuenta la precisión de los datos a manejar: si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario acudir a microcontroladores de 16 ó 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante. Una alternativa más barata y quizá suficiente es usar librerías para manejar los datos de alta precisión.
- **Entrada Salida:** para determinar las necesidades de Entrada/Salida del sistema es conveniente dibujar un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar. Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos hardware externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado a ese sistema.
- **Consumo:** algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo. Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador esté en estado de bajo consumo pero que despierte ante la activación de una señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla.
- **Memoria:** para detectar las necesidades de memoria de nuestra aplicación debemos separarla en memoria volátil (RAM), memoria no volátil (ROM, EPROM, etc.) y memoria no volátil modificable (EEPROM). Este último tipo de memoria puede ser útil para incluir información específica de la aplicación como un número de serie o parámetros de calibración.

- El tipo de memoria a emplear vendrá determinado por el volumen de ventas previsto del producto: de menor a mayor volumen será conveniente emplear EPROM, OTP y ROM. En cuanto a la cantidad de memoria necesaria puede ser imprescindible realizar una versión preliminar, aunque sea en pseudo-código, de la aplicación y a partir de ella hacer una estimación de cuánta memoria volátil y no volátil es necesaria y si es conveniente disponer de memoria no volátil modificable.
- Ancho de palabra: el criterio de diseño debe ser seleccionar el microcontrolador de menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos de la aplicación. Usar un microcontrolador de 4 bits supondrá una reducción en los costes importante, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado coste, deben reservarse para aplicaciones que requieran sus altas prestaciones (Entrada/Salida potente o espacio de direccionamiento muy elevado).
- Diseño de la placa: la selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de circuitos. Debe tenerse en cuenta que quizá usar un microcontrolador barato encarezca el resto de componentes del diseño.

Luego de conocer y analizar los beneficios y la practicidad en cuanto a su aplicación se ha considerado utilizar: PIC (MicroChip)

2.4.3 MICROCONTROLADOR PIC.

Los 'PIC' son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instruments.

El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como Peripheral Interface Controller (Controlador de Interfaz Periférico).

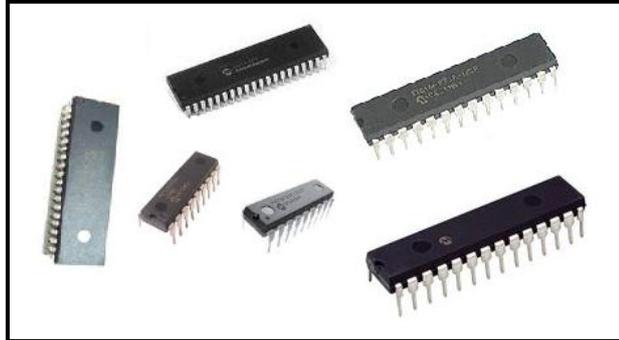


Figura 2.13. Tipos de Microcontroladores de la Marca Microchip

2.4.3.1 JUEGO DE INSTRUCCIONES Y ENTORNO DE PROGRAMACIÓN.

El PIC usa un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número puede variar desde 35 para PICs de gama baja a 70 para los de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada sleep.

Microchip proporciona un entorno de desarrollo freeware llamado MPLAB que incluye un simulador software y un ensamblador. Otras empresas desarrollan compiladores C y BASIC. Microchip también vende compiladores para los PICs de gama alta ("C18" para la serie F18 y "C30" para los dsPICs) y se puede descargar una edición para estudiantes del C18 que inhabilita algunas opciones después de un tiempo de evaluación.

2.4.3.2 PROGRAMACIÓN DEL PIC

Para transferir el código de un ordenador al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de PICs que Microchip distribuye hoy en día incorporan ICSP (In Circuit Serial Programming, programación serie

incorporada) o LVP (Low Voltage Programming, programación a bajo voltaje), lo que permite programar el PIC directamente en el circuito destino. Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7 como reloj y datos y el MCLR para activar el modo programación aplicando un voltaje de unos 11 voltios. Existen muchos programadores de PICs, desde los más simples que dejan al software los detalles de comunicaciones, a los más complejos, que pueden verificar el dispositivo a diversas tensiones de alimentación e implementan en hardware casi todas las funcionalidades.

Muchos de estos programadores complejos incluyen ellos mismos PICs preprogramados como interfaz para enviar las órdenes al PIC que se desea programar. Uno de los programadores más simples es el TE20, que utiliza la línea TX del puerto RS232 como alimentación y las líneas DTR y CTR para mandar o recibir datos cuando el microcontrolador está en modo programación. El software de programación puede ser el ICprog, muy común entre la gente que utiliza este tipo de microcontroladores.

Se pueden obtener directamente de Microchip muchos programadores/depuradores (octubre 2005):

2.4.3.3 PROGRAMADORES:

- WINPIC 800 V3.60 (puerto serie, paralelo y USB)
- PROPIC2 (puerto paralelo)
- PICStart Plus (puerto serie)
- Promate II (puerto serie)
- MPLAB PM3 (puerto serie y USB)
- ICD2 (puerto serie y USB)
- PICKit 1 (USB)
- IC-Prog 1.05E

2.4.3.4 DEPURADORES INTEGRADOS

- ICD2 (USB)

2.4.3.5 EMULADORES

- PROTEUS V7,1 SP2
- ICE2000 (puerto paralelo, convertidor a USB disponible)
- ICE4000 (USB)
- PIC EMU
- PIC CDlite

2.4.3.6 TAMAÑO DE PALABRA

El tamaño de palabra de los microcontroladores PIC es fuente de muchas confusiones. Todos los PICs (excepto los dsPIC) manejan datos en trozos de 8 bits, con lo que se deberían llamar microcontroladores de 8 bits. Pero a diferencia de la mayoría de UCPs, el PIC usa arquitectura Harvard, por lo que el tamaño de las instrucciones puede ser distinto del de la palabra de datos. De hecho, las diferentes familias de PICs usan tamaños de instrucción distintos, lo que hace difícil comparar el tamaño del código del PIC con el de otros microcontroladores. Por ejemplo, pongamos que un microcontrolador tiene 6144 bytes de memoria de programa: para un PIC de 12 bits esto significa 4096 palabras y para uno de 16 bits, 3072 palabras.

2.4.3.7 CARACTERÍSTICAS.

Los PIC's actuales vienen con una amplia gama de mejoras hardware incorporados:

- Núcleos de UCP de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada
- Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes

- Puertos de E/S (típicamente 0 a 5,5 voltios)
- Temporizadores de 8/16 bits
- Tecnología Nanowatt para modos de control de energía
- Periféricos serie síncronos y asíncronos: USART, AUSART, EUSART
- Conversores analógico/digital de 10-12 bits
- Comparadores de tensión
- Módulos de captura y comparación PWM
- Controladores LCD
- Periférico MSSP para comunicaciones I²C, SPI, y I²S
- Memoria EEPROM interna con duración de hasta un millón de ciclos de lectura/escritura
- Periféricos de control de motores
- Soporte de interfaz USB
- Soporte de controlador Ethernet
- Soporte de controlador CAN
- Soporte de controlador LIN
- Soporte de controlador Irda

2.4.3.8 PIC'S MÁS COMÚNMENTE USADOS

- PIC12C508/509 (encapsulamiento reducido de 8 pines, oscilador interno, popular en pequeños diseños como el iPod remote)
- PIC16F84 (Considerado obsoleto, pero imposible de descartar y muy popular)
- PIC16F84A (Buena actualización del anterior, algunas versiones funcionan a 20 MHz, compatible 1:1)
- PIC12F629/675
- PIC16F628
- La familia PIC16F87X (los hermanos mayores del PIC16F84, con cantidad de mejoras incluidas en hardware. Bastante común en proyectos de aficionados)
- PIC18F452

2.4.4 SELECCIÓN DEL PIC.

Vistos los criterios de selección del microcontrolador se decidió utilizar el PIC 16F873.

La distribución de pines de un chip de este modelo es la siguiente:

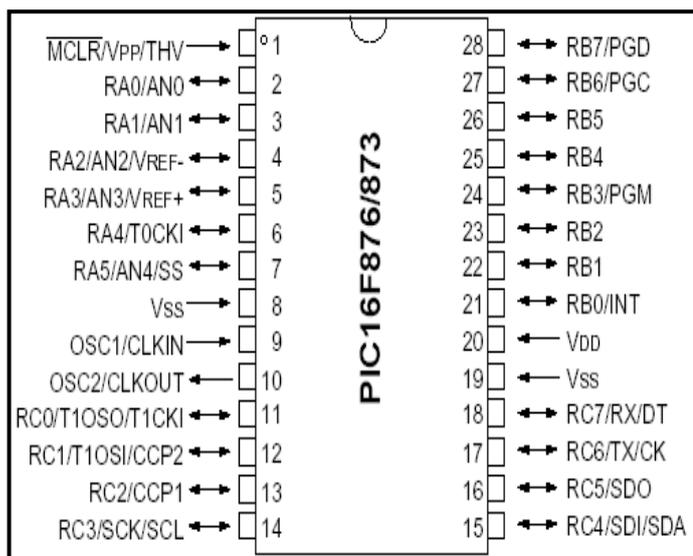


Figura 2.14 Diagrama de un PIC16F873

2.4.4.1 PIC 16F873

Este microcontrolador forma parte de la familia de los PIC16F87X, a continuación damos a conocer las características principales y especiales de este microcontrolador.

2.4.4.1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

- Set de instrucciones reducido (RISC). Sólo 35 instrucciones para aprender.
- Las instrucciones se ejecutan en un sólo ciclo de máquina excepto los saltos que requieren 2 ciclos.
- Opera con una frecuencia de clock reloj de hasta 20 MHz (ciclo de máquina de 200 ns)

- Memoria de programa: 4096 posiciones de 14 bits.
- Memoria de datos: Memoria RAM de 192 bytes (8 bits por registro).
- Memoria EEPROM: 128 bytes (8 bits por registro).
- Stack de 8 niveles.
- 22 Terminales de I/O que soportan corrientes de hasta 25 mA.
- 5 Entradas analógicas de 10 bits de resolución.
- 3 Timers.
- Módulos de comunicación serie, comparadores, PWM.

2.4.4.1.2 CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.

- La memoria de programa se puede reescribir hasta 1000 veces.
- La memoria EEPROM se puede reescribir hasta 1000000 de veces.
- Los datos almacenados en la memoria EEPROM se retienen por 40 años y no se borran al quitar la alimentación al circuito.
- 13 fuentes de interrupción:
 - Señal externa (RB0).
 - Desborde de TMR0
 - Cambio en el estado de los terminales RB4, RB5, RB6 o RB7.
 - Ciclo de escritura en la memoria EEPROM completado.
 - Ciclo de conversión A/D finalizado

2.4.4.1.3 TERMINALES DE ENTRADA Y DE SALIDA.

El microcontrolador PIC 16F873 posee 22 pines de entrada/salida configurables por software:

PORTA: RA0-RA5:

- Los terminales RA0-RA3 y RA5 son bidireccionales y manejan señales TTL. Pueden configurarse como entradas analógicas.

- El terminal RA4 como entrada es Schmitt Trigger y cómo salida es colector abierto. Este terminal puede configurarse como clock de entrada para el contador TMR0.

PORTB: RB0-RB7:

- Los terminales RB0-RB7 son bidireccionales y manejan señales TTL.
- Por software se pueden activar las resistencias de pull-up internas, que evitan el uso de resistencias externas en caso de que los terminales se utilicen como entrada (esto permite, en algunos casos, reducir el número de componentes externos necesarios).
- RB0 se puede utilizar como entrada de pulsos para la interrupción externa.
- RB4-RB7 se pueden utilizar para la interrupción por cambio de estado.

PORTC: RC0-RC7:

- Los terminales RC0-RC7 son bidireccionales y manejan señales TTL.
- Se utilizan en los módulos de PWM, comparadores y transmisión serial.

OTROS TERMINALES:

- VDD: Positivo de alimentación. 2-6 Vcc.
- VSS: Negativo de alimentación.
- MCLR: Master Clear (Reset). Mientras en este terminal haya un nivel bajo (0 Vcc), el microcontrolador permanece inactivo.
- OSC1/CLKIN: Entrada del oscilador (cristal). Entrada de oscilador externo.
- OSC2/CLKOUT: Salida del oscilador (cristal).

2.4.4.1.4 ESTRUCTURA INTERNA DEL PIC 16F873

Como se observa en el esquema del diagrama de bloques del PIC (**figura 2.15**), este consta de un procesador con una ALU y un Decodificador de Instrucciones, una memoria de programas tipo FLASH de 4K palabras de 14 bits, una memoria de datos SRAM con 192 posiciones de 8 bits. También existe una zona de 128 bytes de EEPROM para datos no volátiles. Finalmente dispone de interrupciones, un temporizador, WDT (perro guardián), los

terminales de E/S (PORTA, PORTB y PORTC) configurables por software y los módulos especiales (timers, comparadores, puerto serie).

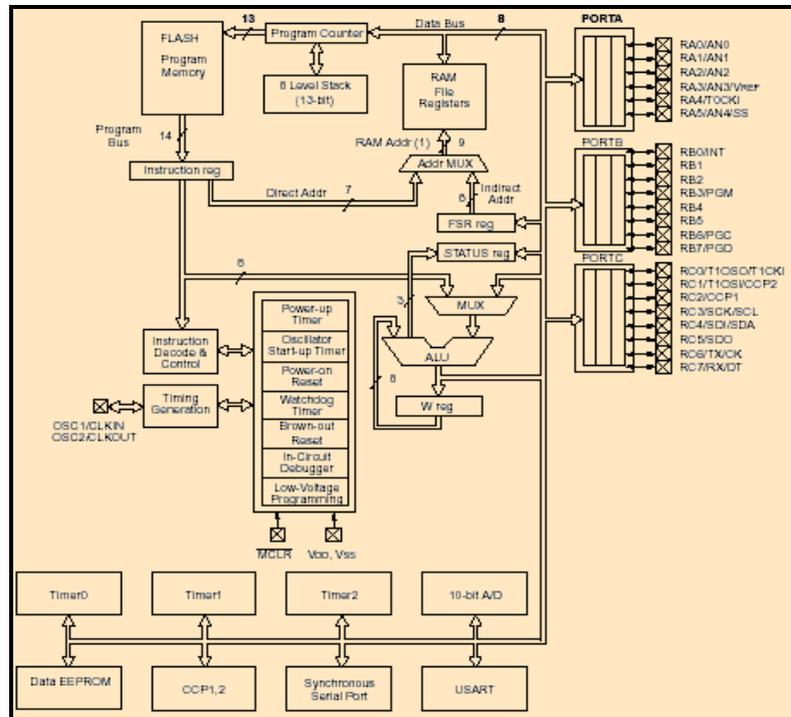


Figura 2.15. Esquema del Diagrama de Bloques del Pic 16F783

CIRCUITO DE RELOJ.

Para que el PIC 16F873 procese instrucciones, necesita un reloj cuyos impulsos determinen la velocidad de trabajo. El oscilador que genera esos impulsos está implementado dentro del circuito integrado, pero para regular, seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo hay que colocar externamente cierta circuitería entre los pines OSC1/CLKIN y OSC2/CLKOUT. La frecuencia de reloj principal determina el ciclo de instrucción (tiempo que tarda una instrucción en ejecutarse). En los PICs, un ciclo de instrucción emplea cuatro periodos de oscilación del reloj principal. Por ejemplo si la frecuencia del reloj principal es de 4 MHz, un ciclo de instrucción tardará en realizarse:

- T oscilación del reloj principal = $1/F$ del reloj principal = $1/4\text{MHz} = 250\text{ns}$
- Ciclo de instrucción = T oscilación x 4 = $250\text{ns} \times 4 = 1\mu\text{s}$

Según los componentes externos que se coloquen se configuran cuatro tipos de osciladores:

Tipo RC: Es un oscilador de bajo costo y poca estabilidad. Solo precisa una resistencia y un capacitor externos.

Tipo HS: Es un oscilador de alta velocidad y muy estable funciona en frecuencias comprendidas entre 4 y 20MHz. Utiliza un cristal de cuarzo o un resonador cerámico.

Tipo XT: También emplea el cristal de cuarzo o el resonador cerámico. Trabaja en frecuencias medias, comprendidas entre 100KHz y 4MHz.

Tipo LP: Empleado en aplicaciones de bajo consumo, lo que conlleva una frecuencia pequeña. A más velocidad, más consumo. Usa cristal o resonador, y las frecuencias de trabajo oscilan entre 35 y 200KHz.

Estado de reposo: cuando el microcontrolador funciona en modo reposo (sleep) la potencia necesaria es menor de 3mA.

PERRO GUARDIÁN (WATCHDOG): El temporizador perro guardián (watchdog) es independiente del reloj principal (posee su propio oscilador), por lo tanto en el modo en bajo consumo puede seguir funcionando. Cuando llegue al valor máximo FFh, se produce el desbordamiento del perro guardián, se iniciará tomando el valor 00h y provocara un reset. El tiempo típico es de 18ms, pero utilizando un divisor de frecuencia (programable por software) se pueden alcanzar 2.3 segundos.

La utilización del perro guardián permite controlar los posibles cuelgues del programa, esto es si durante el programa hemos previsto poner a cero el perro

guardián para evitar que se genere un reset, en el momento que por un fallo no previsto el programa se quede en un bucle sin fin, al no poder poner a cero el perro guardián, este generara un reset sacando al programa del bucle.

TEMPORIZADORES:

Temporizador TMR0: Contador de 8 bits, similar al del PIC16F84.

Temporizador TMR1: De los tres temporizadores disponibles en los PIC16F87X éste es el único que tiene un tamaño de 16 bits y que actúa como un Temporizador/Contador. Para manejar 16 bits es preciso concatenar dos registros de 8 bits: TMR1H:TMR1L, que son los encargados de guardar la cuenta en cada instante. Dicho valor evoluciona desde 0000H hasta FFFFH y al regresar nuevamente al valor 0000H se acciona la señalización TMRIF, y si se desea se puede provocar la petición de una interrupción. El valor existente en TMR1H:TMR1L puede ser leído o escrito y los pulsos de reloj que originan la cuenta ascendente pueden provenir del exterior o de la frecuencia de funcionamiento del microcontrolador ($F_{osc}/4$).

El TMR1 puede funcionar de tres maneras:

- Como temporizador.
- Como contador síncrono.
- Como contador asíncrono.

En el modo temporizador el valor concatenado TMR1H:TMR1L se incrementa con cada ciclo de instrucción ($F_{osc}/4$). En el modo contador, el incremento se puede producir con los flancos ascendentes de un reloj, cuya entrada se aplica a las líneas RCO y RCI de la puerta C, o por los impulsos aplicados en la línea RCO.

Temporizador TMR2: El TMR2 es un temporizador ascendente de 8 bits y que también puede realizar operaciones especiales para el Puerto Serie Síncrono

(SSP) y para los módulos de Captura y Comparación. La señal de reloj del TMR2 es la interna $F_{osc}/4$, y antes de ser aplicada pasa por un pre-divisor de frecuencia con rangos 1:1, 1:4 y 1:16. La salida del TMR2 atraviesa un post-divisor de frecuencia con rangos comprendidos entre 1:1 hasta 1:16, pasando por los 16 valores posibles. Al entrar el microcontrolador en modo de reposo, se detiene el oscilador interno y TMR2 deja de funcionar.

MÓDULOS DE CAPTURA Y COMPARACIÓN:

Los PIC16F87X disponen de dos módulos CCP, que se diferencian por su nomenclatura, CCP1 y CCP2, dado que su funcionamiento prácticamente es igual.

Módulos CCP en modo captura: En modo captura, una pareja de registros captura el valor que tiene TMR1 cuando ocurre un evento especial en el pin RC2/CCP1 para el módulo CCP1 y en el pin RC1/T1OSI/CCP2 para el módulo CCP2. Los eventos posibles que pueden ocurrir sobre dichas pines son:

- Un flanco ascendente.
- Un flanco descendente.
- Cada 4 flancos ascendentes.
- Cada 16 flancos ascendentes.

Al efectuar la captura se activa el señalizador CCP1F para el módulo CCP1, y si el bit de permiso está activado también se puede originar una petición de interrupción. Una interesante aplicación del modo de captura es la medición de los intervalos de tiempo que existen entre los impulsos que se aplican a un pin del PIC.

Módulos CCP en modo comparación: En esta forma de trabajo, la pareja de registros CCPR1H-L compara su contenido, de forma continua, con el valor del TMR1. Cuando coinciden ambos valores se pone si el señalizador CCP1IF, y el

pin RC2/CCP 1, que se halla configurada como salida, soportan uno de los siguientes eventos:

- Pasa a nivel alto.
- Pasa a nivel bajo.

No cambia su estado pero se produce una interrupción.

Modo PWM: Con este modo de trabajo se consiguen pulsos cuyo ancho en el nivel alto es de duración variable y que son enormemente útiles en el control de los motores. La pata RC2/CCP 1 está configurada como salida y la oscilación entre los niveles lógicos 0 y 1 a intervalos variables de tiempo. Se intenta obtener un pulso cuyo nivel alto tenga un ancho variable (Duty Cycle), dentro del intervalo fijo del período del pulso.

Para conseguir la oscilación de la pata se usa un comparador que pone a 1 (Set) un flip-flop cuando el valor del registro PR2 coincide con la parte alta del TMR2, momento en que TMR2 toma el valor 00H. Luego el flip-flop se resetea y se pone a 0 cuando otro comparador detecta la coincidencia del valor existente en CCPR1H con el de la parte alta de TMR2. Variando los valores que se cargan en PR2 y en CCPR1L se varía el intervalo de tiempo en que la pata de salida está a 1 y a 0 .

CONVERSION A/D:

Los PIC16F87X disponen de un conversor A/D de 10 bits de resolución y 5 canales de entrada. A través de una entrada seleccionada se aplica la señal analógica a un condensador de captura y mantenimiento y luego dicho valor se introduce al conversor, que usando la técnica de aproximaciones sucesivas proporciona un resultado digital equivalente de 10 bits. La tensión de referencia puede implementarse con la tensión interna de alimentación del PIC o bien con una externa introducida por las patas RA3/AN3/VREF+ y RA2/AN2/VREF-.

2.4.4.1.5 SISTEMA DE MEMORIA.

Tienen arquitectura Harvard, separa la memoria de datos y la memoria de programa, y se accede a ellas mediante buses distintos.

Al acceder mediante buses distintos el ancho de palabra de la memoria de datos y por tanto del bus de datos, puede ser distinto del ancho de palabra y el bus de memoria de programa.

En los PIC16C873:

- Ancho del bus y la memoria de datos es de 8 bits.
- Ancho del bus y la memoria de programa es de 14 bits.

Las instrucciones presentan un formato que ocupa una única palabra de la memoria de programa. Cada posición de memoria de programa contiene una única instrucción.

Presenta dos tipos de memorias, como se menciona anteriormente:

Memoria de Programa: La memoria de programa es del tipo flash. La memoria flash es una memoria no volátil, de bajo consumo que se puede escribir y borrar eléctricamente. Es programable en el circuito como la EEPROM pero de mayor densidad y más rápida. El PIC 16F873 posee una memoria de 4K palabras, es decir permite hasta 4096 instrucciones de 14 bits cada una.

Memoria de datos: Se encuentra en dos zonas bien diferenciadas:

Memoria tipo RAM (SRAM): Se divide en 4 bancos o páginas de 128 registros de 8 bits cada uno, aunque no todos los registros están implementados físicamente. Los registros se dividen en:

- Registros especiales: Cada uno tiene una función específica que se analizará más adelante.

- Registros de uso general: Son los registros que le permiten al usuario almacenar valores temporalmente (variables) durante la ejecución del programa.

Memoria de datos tipo EEPROM: está compuesta de por 128 registros de 8 bits cada uno. Este tipo de memoria es capaz de guardar la información más de 40 años.

En resumen:

- El PIC16F873 dispone de una memoria de programa de 4096 posiciones (0000H a 03FFH) de 14 bits cada una. La memoria está dividida en 2 páginas.
- El contador de programa (PC) es el registro que contiene, en todo momento, la dirección de la próxima instrucción a ejecutarse. Este registro, de 13 bits, es capaz de direccionar hasta 8192 posiciones de memoria (más que suficiente para las 4096 del PIC16F873).
- Stack de 8 niveles. Son 8 registros de 13 bits en los que el microcontrolador va almacenando las direcciones de retorno de las diferentes subrutinas.
- La posición 0000H de la memoria es el denominado Vector de Reset. Esta es la dirección de memoria que se carga en PC cuando el microcontrolador, estando alimentado, sale del estado de reset (MCLR=5Vcc). En esta dirección se debe almacenar un GOTO al inicio del programa.
- La dirección 0004H es el denominado Vector de interrupción. Cuando el sistema de interrupciones se encuentra habilitado y se produce un evento, en PC se carga automáticamente esta dirección. En ella debe comenzar la rutina de atención a las interrupciones.
- La memoria de programa propiamente dicha se divide en dos páginas (0005-07FF y 0800-0FFF). La página se debe seleccionar por software. Para ello se utiliza el bit 3 del registro PCLATH.

En base a la descripción de los espacios de memoria señalados anteriormente, podemos fijarnos como está estructurada la Memoria en bloques (**figura 2.16**)

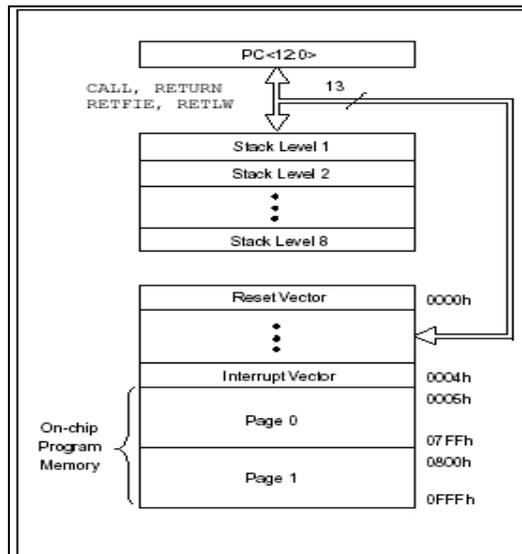


Figura 2.16. Mapa de memoria y de sus bloques.

En el diagrama del mapa de Memoria de datos (figura 2.17), lo podemos observar a continuación.

Indirect addr. ⁽¹⁾	00h	Indirect addr. ⁽¹⁾	80h	Indirect addr. ⁽¹⁾	100h	Indirect addr. ⁽¹⁾	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD ⁽¹⁾	08h	TRISD ⁽¹⁾	88h		108h		188h
PORTE ⁽¹⁾	09h	TRISE ⁽¹⁾	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved ⁽²⁾	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved ⁽²⁾	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h				
T2CON	12h	PR2	92h				
SSPBUF	13h	SSPAD0	93h				
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h				
CCPR1L	15h		95h				
CCPR1H	16h		96h				
CCP1CON	17h		97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h				
RCREG	1Ah		9Ah				
CCPR2L	1Bh		9Bh				
CCPR2H	1Ch		9Ch				
CCP2CON	1Dh		9Dh				
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh				
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh				
	20h		A0h				
GPR		GPR		acceso		acceso	
96 Bytes		96 Bytes		20h-7Fh	120h	A0h - FFh	1A0h
Bank 0	7Fh	Bank 1	FFh		16Fh		1EFh
					170h		1F0h
					17Fh		1FFh

Figura 2.17. Mapa de memoria para datos PIC 16F873

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO PARA AUTOMATIZAR EL SISTEMA DE SELECCIÓN DE VELOCIDADES.

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Una caja de cambios convencional provee cuatro o cinco marchas hacia delante y una marcha atrás. Cada velocidad es seleccionada a través de una palanca ubicada al costado derecho del conductor, por lo que el conductor tiene que separar la mano del volante para poder ejecutar el respectivo cambio de marcha, reduciendo la maniobrabilidad al conducir y al mismo tiempo este procedimiento de selección de velocidades es un factor de distracción para quién conduce; el Proyecto responde al deseo de realizar una investigación para la automatización para los cambios de marchas que es de gran importancia en el campo automotriz, ya que disminuye los esfuerzos del conductor, brindándole mayor seguridad, combinando la facilidad de conducción con la eficiencia y el carácter deportivo de un cambio manual.

El avance tecnológico en los automóviles no solo está relacionado a las aplicaciones eléctricas y electrónicas en los sistemas de un vehículo; este adelanto científico a abordado la construcción de nuevos y mejores elementos que satisfagan los performance de velocidad y seguridad, siendo en la automatización del mecanismo de selección de velocidades de la caja de cambios un elemento esencial en este desarrollo.

3.2 DISEÑO MECÁNICO:

Esta es la parte esencial del proyecto. En ella se tratarán las diferentes etapas que se han seguido desde la toma de mediciones hasta tener todo el conjunto construido.

Una de las primeras decisiones en tomar, consistió en elegir sobre qué elemento del cambio se iba a actuar para lograr la automatización en la inserción de las marchas. Esta elección era necesaria para poder comenzar a realizar las mediciones de fuerza y giro/recorrido que debía/h cumplir el/los actuador/es futuro/s.

A la vista cabe enfatizar sobre cuatro posibilidades de actuación:

- Sobre las horquillas de selección de marchas. (**figura 3.1.**)

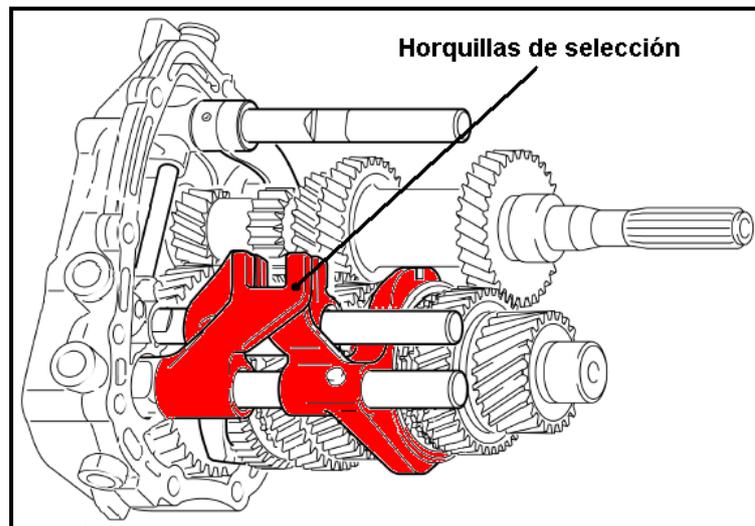


Figura 3.1. Horquillas de selección.

- Sobre el eje de selección del cambio. (**figura 3.2.**)

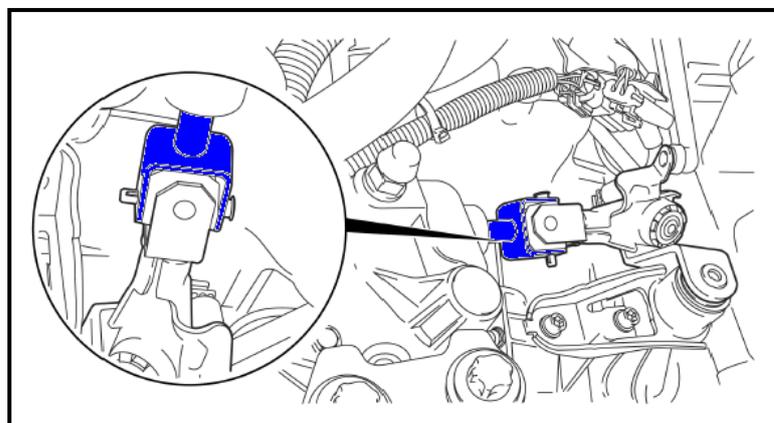


Figura 3.2. Eje de selección.

- Sobre el propio mecanismo. (figura 3.3.)

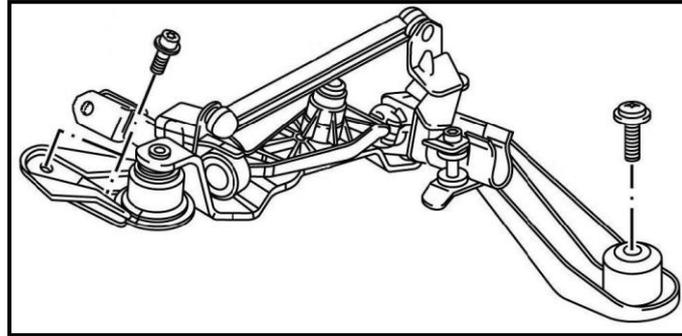


Figura 3.3. Mecanismo principal.

- Sobre el vástago de la palanca principal. (figura 3.4.)

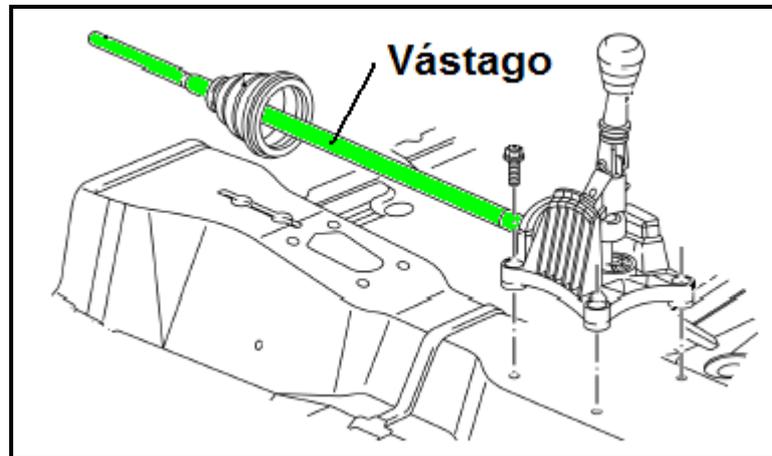


Figura 3.4. Vástago.

De entre las cuatro, se optó por la última. Las razones fueron mayor espacio disponible y la sencillez para provocar el giro deseado. Actuando sobre las horquillas de selección, se obtendrían medidas más fiables y la fuerza necesaria hubiera sido menor al no tener que vencer las fuerzas de rozamiento de los elementos intermedios; sin embargo, existirían más problemas de espacio. Además, en caso de que los actuadores fueran situados en el interior del cambio, habría que realizar modificaciones en la propia carcasa para permitir el movimiento adecuado de dichos actuadores. Asimismo sobre el eje de elección de cambio habría que diseñar un mecanismo igual o mejor, tal que cumpla con los movimientos para la inserción de cada una de las marchas.

3.2.1 DETERMINACIÓN DE LAS FUERZAS DE OPERACIÓN PARA EL CAMBIO DE MARCHAS (DINAMÓMETRO).

Antes de arrancar con cualquier diseño de accionamiento, fue preciso conocer varias magnitudes primordiales de la caja de cambios; ya que la palanca de selección de marchas tiene que realizar dos movimientos: giratorio y longitudinalmente, por el vástago de la palanca principal estos movimientos pueden ser transmitidos a través del mismo.

- Fuerza y recorrido necesarios para insertar cada relación de marcha.
- Par y ángulo girado por el eje para el posicionamiento de selección del cambio en cada operación de engrane.

Para poder realizar las mediciones y comprobar el funcionamiento de la caja, se utilizó un dinamómetro para evaluar la fuerza que necesitaba el mecanismo para realizar la inserción de cada una de las marchas (**figura 3.5.**), y por consiguiente se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la **tabla 3.1:**

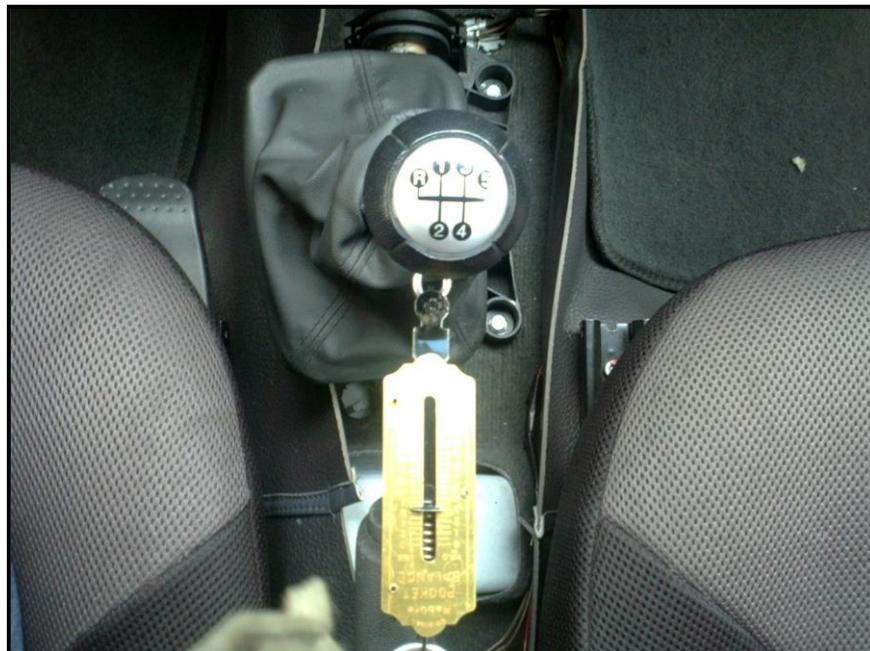


Figura 3.5. Medición de la fuerza de inserción de las marchas.

Tabla 3.1 Medidas del dinamómetro

Posición	Medición Nº 1		Medición Nº 2 [N]	
	[lb. - fuerza]	[N]	[lb. - fuerza]	[N]
De N – R	6	26,7	7	31,1
De N – 1	6	26,7	5	22,2
De N – 2	7	31,1	6	26,7
De N – 3	6	26,7	5	22,2
De N – 4	5	22,2	5	22,2
De N – 5	6	26,7	7	31,1
De 5 – N	5	22,2	5	22,2
De 4 – N	4	17,8	6	26,7
De 3 – N	6	26,7	4	17,8
De 2 – N	4	17,8	5	22,2
De 1 – N	5	22,2	4	17,8
De R – N	6	26,7	5	22,2

En el recorrido o carrera que realiza el vástago de la palanca principal se evaluó insertando cada una de las marchas como se muestra en la **figura 3.6** (**A** cuando está en la posición de R, 1, 3 y 5; **B** cuando está en la posición neutral y **C** cuando está en la posición de 2 y 4).

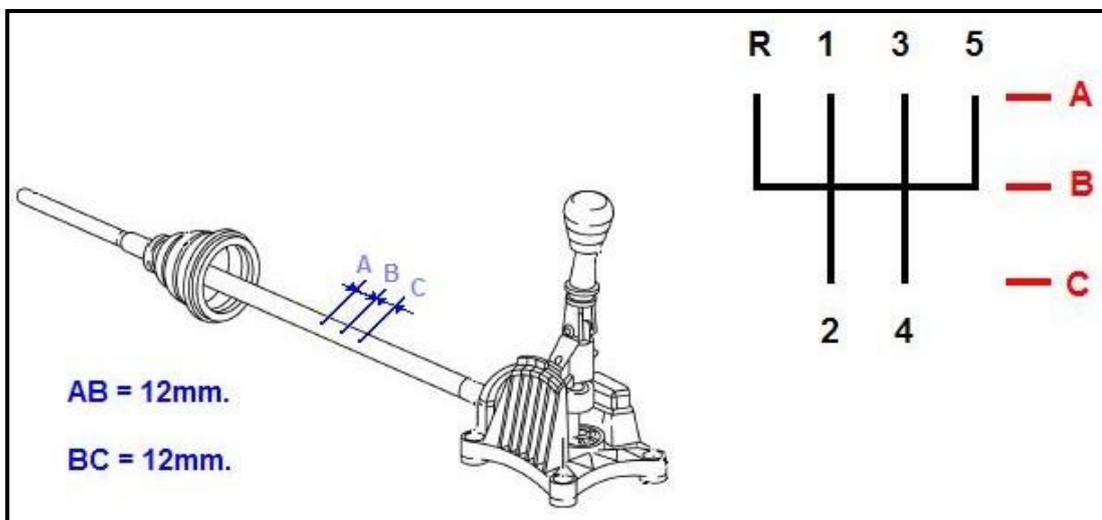


Figura 3.6. Representación Del Recorrido De La Palanca De Selección Principal.

El recorrido del vástago de la palanca de cambios es:

$$AB = 12 \text{ mm.}$$

$$BC = 12 \text{ mm.}$$

Y el recorrido total es de 24 mm.

Para medir el par con el cual se consigue el giro se evaluó con el mismo dinamómetro la fuerza para conseguir el posicionamiento tal como se indica en la **figura 3.7.** y **figura 3.8.** y mostrados en la **tabla 3.2.**

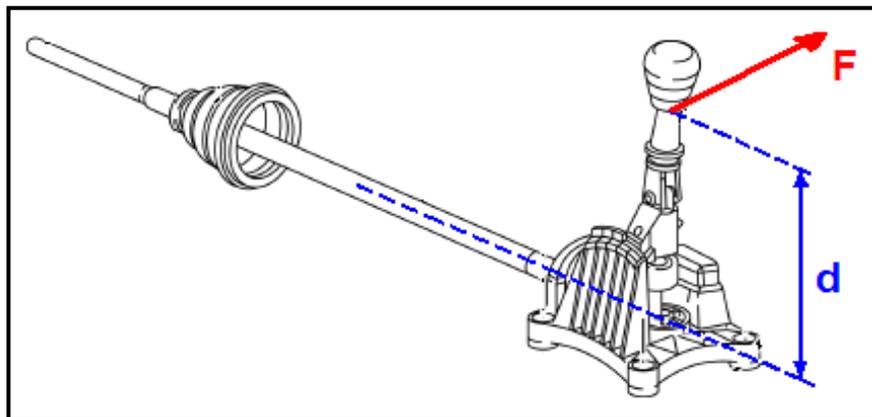


Figura 3.7. Par para realizar el giro.



Figura 3.8. Medición del par para realizar el giro.

Tabla 3.2. Par

Posición	Medición N° 1		Medición N° 2	
	[lb. - fuerza]	[N]	[lb. - fuerza]	[N]
R	3	13,3	4	17,8
1 y 2	4	17,8	5	22,2
3 y 4	0	0	0	0
5	5	22,2	4	17,8

Para conocer el par máximo (**Figura 3.9.**), se tomó en cuenta la distancia “d” a la que se aplicó la fuerza “F” (**Tabla 3.2.**).

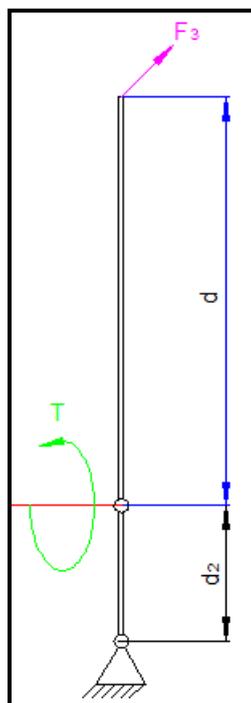


Figura 3.9. Representación del par para realizar el giro.

$$T = d \cdot F$$

$$T = (0.175\text{m}) \cdot (22.2\text{ N})$$

$$T = 3.885\text{ N} \cdot \text{m}$$

Para establecer la fuerza que actúa sobre el vástago de la palanca de cambios aplicamos el principio de palanca (**figura 3.10.**) y determinamos con la siguiente relación:

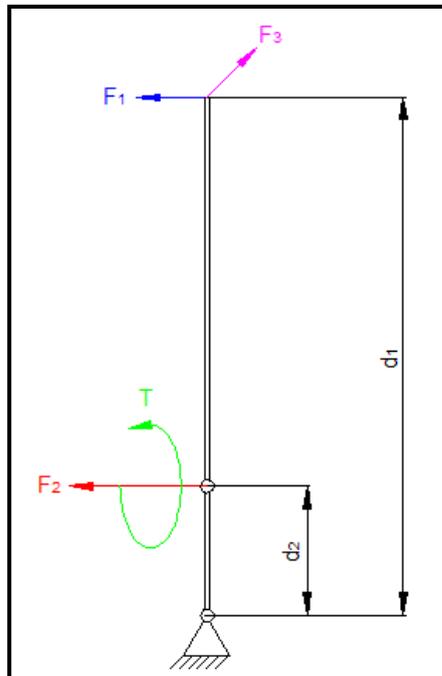


Figura 3.10. Representación de Fuerzas de la manopla de la palanca de cambios.

Por medición (**tabla 3.1**):

$$F_1 = 31.1\text{N}$$

Por palanca:

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot d_1}{d_2}$$

$$F_2 = \frac{31.1\text{N} \cdot 233\text{mm}}{58\text{mm}}$$

$$F_2 = 124.936\text{N}$$

Para medir el ángulo girado por el eje de selección de cada una de las relaciones de velocidades se optó por: medir el diámetro del eje selector, posteriormente se marcó una longitud de arco para el recorrido de las marchas y así se conoció el ángulo girado como se indica en las **figuras 3.11., figura 3.12. y figura 3.13.**

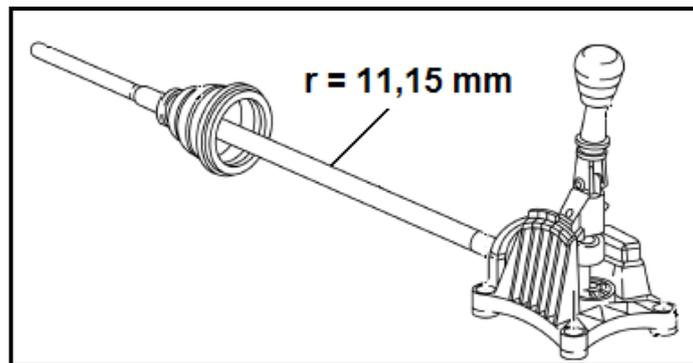


Figura 3.11. Vástago de la palanca principal.



Figura 3.12. Medición del vástago de la palanca principal.

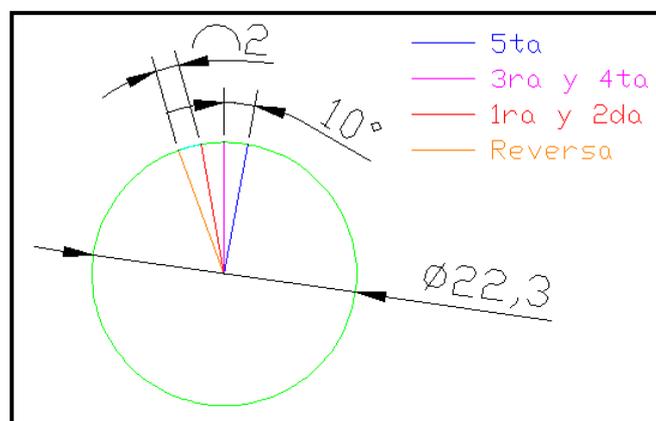


Figura 3.13. Representación del las posiciones de giro del eje de selección en [mm]

3.2.2 CONCEPCIÓN DEL MECANISMO.

3.2.2.1 RESTRICCIONES

El diseño que se tenía que realizar, debía cumplir al menos las siguientes limitaciones:

- FUERZA Y CARRERA.
- PAR Y ÁNGULO GIRADO.

Los actuadores, fueran del tipo que fueran, debían vencer una fuerza mínima y conseguir el recorrido necesario para realizar el giro de la palanca de selección.

Dichos valores (**tabla 3.3.**), obtenidos son:

Tabla 3.3. Condiciones para los actuadores.

PARÁMETRO	MEDIDA
Fuerza	124.9 N.
Carrera	12 mm.
Par	3.89 N·m.
Ángulo	10°

- ESPACIO DISPONIBLE. La limitación de espacio físico fue uno de los principales problemas de este proyecto. En las siguientes ilustraciones (**Figura 3.14.**, **Figura 3.15.**, **Figura 3.16.** y **Figura 3.17.**) se muestran la zona de trabajo así como el sitio disponible para el mecanismo que hay que diseñar.



Figura 3.14. Zona de trabajo.

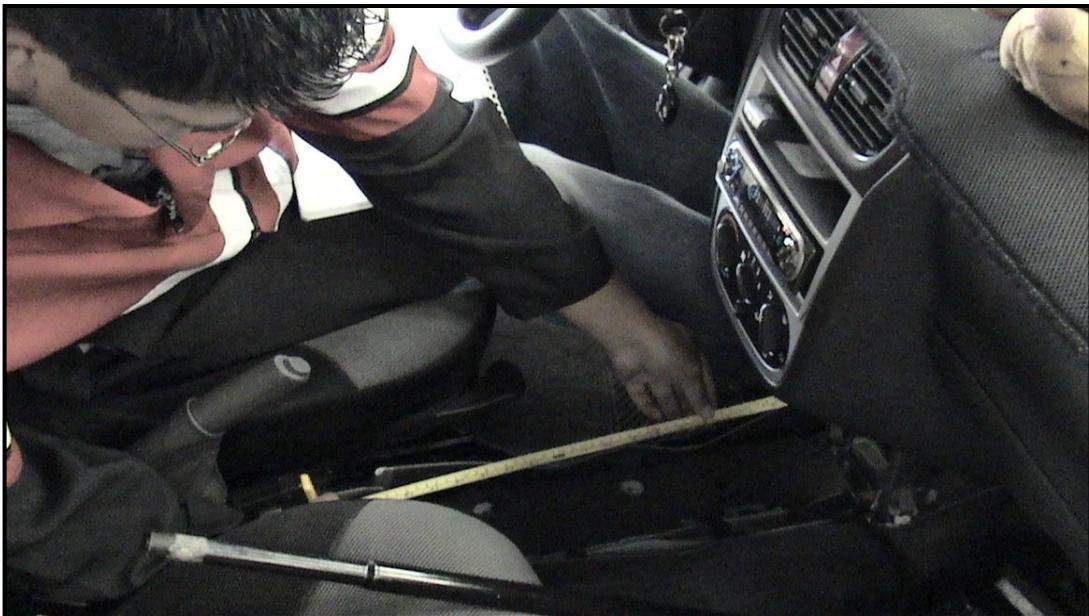


Figura 3.15. Espacio disponible.



Figura 3.16. Espacio libre.



Figura 3.17. Sitio de adecuación.

3.2.2.2 ACCIONAMIENTO

El mecanismo debía permitir una semiautomatización en la inserción de todas las marchas. Esto significaba que el conductor seleccionaba el cambio (daba la orden) pero era el sistema el encargado de realizar la fuerza necesaria para el engrane de las marchas.

3.2.3 MECANISMO DEFINITIVO:

Tras varios intentos de búsqueda, por fin se dio con los motores de CD que cumplían con las características deseadas:

El primero se trata de un motor de CD. Cuyas características se muestran en la **tabla 3.4**. Su ilustración se muestra en la **figura 3.18**.

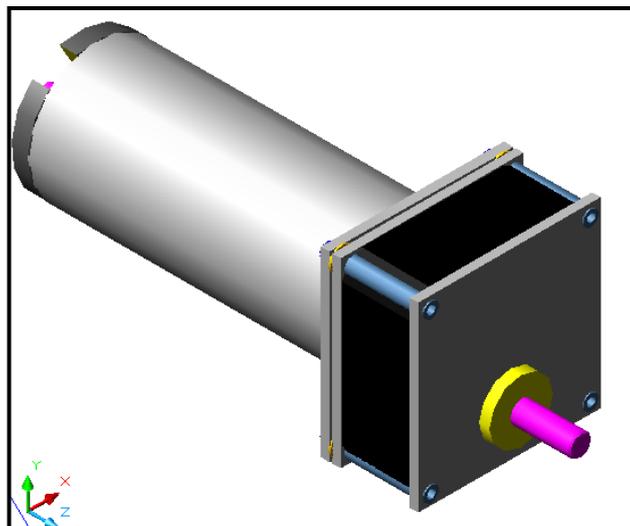


Figura 3.18. Representación del motor No. 1.

Tabla 3.4. Características de los Motores

ESPECIFICACIONES	Motor No. 1	Motor No. 2
Tipo de motor	CD	CD
Voltaje de operación	12 V	12 V
Potencia	45 W	31 W
Velocidad	113 1/min.	133 1/min.

Igualmente el segundo motor se muestra en la **figura 3.19.** y sus características constan en la **tabla 3.4.**

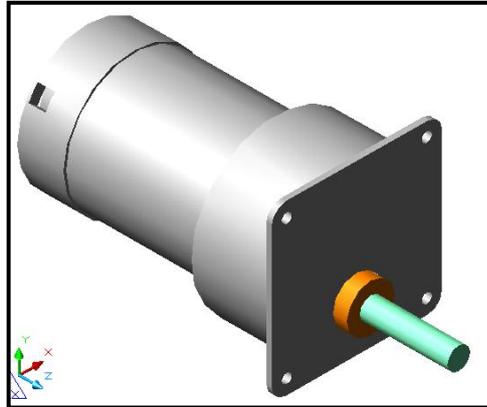


Figura 3.19. Representación del motor No. 2.

Una vez seleccionado el elemento sobre el cual se va a lograr la automatización de inserción de marchas como lo es el vástago de la palanca principal; el mecanismo definitivo (**figura 3.20.**) se lo ha realizado de forma tal que cumpla con todos los movimientos para la inserción de cada una de las marchas; para lo cual el primer motor (**figura 3.18.**) para que realice el movimiento de tipo giratorio, es decir es este el que ubicará la posición para cada una de las marchas; y el segundo motor (**figura 3.19.**) se ha utilizado para que realice un movimiento axial, es decir es el que insertará cada una de las marchas.

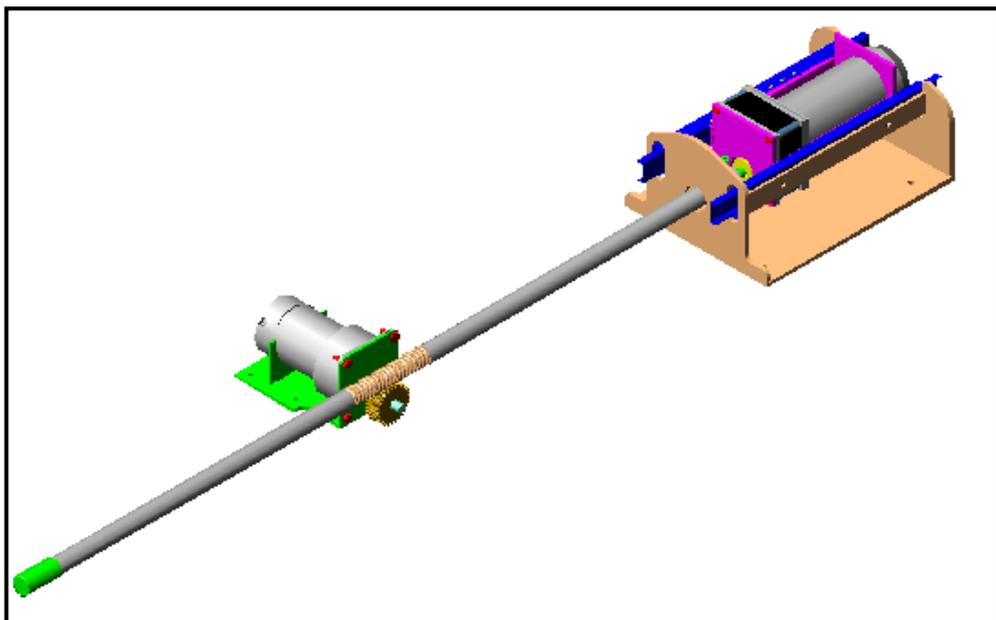


Figura 3.20. Mecanismo definitivo.

3.2.3.1 DISEÑO PRINCIPAL Y CONSTRUCCIÓN:

En esta etapa del proyecto vamos a realizar un análisis de fuerzas a las que estará sometido nuestro mecanismo y así determinar si va a soportar dichas fuerzas.

DISEÑO DEL EJE:

El primer diseño que se ha tomado en cuenta es el de construir un eje el cual pueda soportar los esfuerzos sometidos por los motores, ilustrado en la **figura 3.21**.

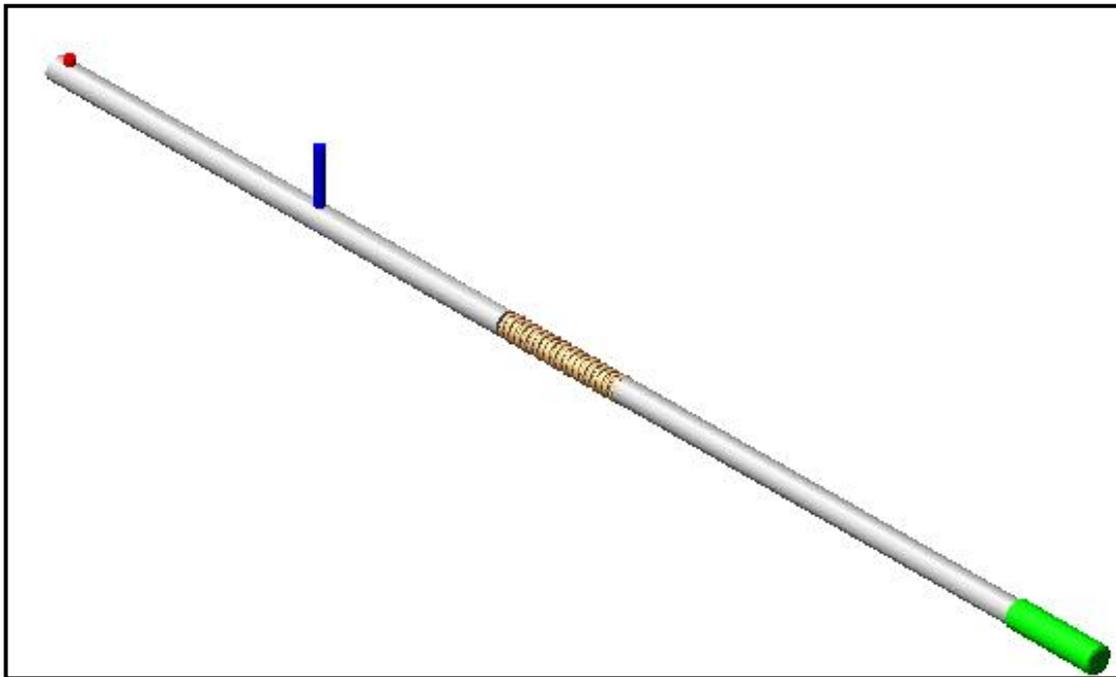


Figura 3.21. Eje principal de accionamiento.

Empezaremos por realizar un análisis de tensiones en el eje (**figura 3.22**):

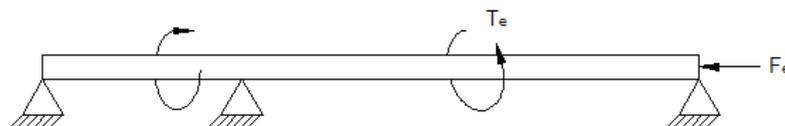


Figura 3.22. Esfuerzos a los que está sometido el eje.

De la **tabla 3.3.** tenemos:

$$F_2 = 124.9 \text{ N}$$

$$T = 3.39 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Para este tipo de sistemas se recomienda utilizar un factor de seguridad ¹ para el diseño de:

$$N = 3$$

Por consiguiente los valores de fuerza y torque para el diseño quedan:

$$F_e = F_2 \cdot N$$

$$T_e = T \cdot N$$

$$F_e = (124.93) \cdot (3) = 374.79 \text{ N}$$

$$T_e = (3.39) \cdot (3) = 10.17 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Cuando se aplica un torque a una pieza, tiende a deformarse como consecuencia del giro, tal giro genera una tensión por esfuerzo de corte en la pieza, por lo que analizaremos a nuestro eje a *tensión de esfuerzo de corte por torsión*²:

$$\tau_{\max} = \frac{T_e \cdot c}{J}$$

τ_{\max} = Tensión máxima de esfuerzo de corte por torsión

c = radio del eje

J = Momento polar de inercia

Para un área circular³:

$$c = \frac{D}{2}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{32}$$

$$r = \frac{D}{4}$$

¹ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 154

² MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 68

³ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Apéndice 1

Entonces:

$$\tau_{xy} = \frac{T_e \cdot \frac{D}{2}}{\pi \cdot D^4} = \frac{16 \cdot T_e}{\pi \cdot D^3} = \frac{(16) \cdot (10.17 \text{ N} \cdot \text{m})}{\pi \cdot (0.016 \text{ m})^3} = 12.645 \text{ MPa}$$

Ahora, analizaremos *tensiones directas: tensión y compresión*⁴, debido a las cargas que actúan en el eje:

$$\sigma_x = \frac{F_e}{A} = \frac{F_e}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{4 \cdot (374.79 \text{ N})}{\pi \cdot (0.016 \text{ m})^2} = 1.864 \text{ MPa}$$

Seguidamente analizaremos en forma general el caso de las tensiones normales y por esfuerzo de corte combinadas⁵:

$$\sigma_1 = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{(1.864 \times 10^6)}{2} + \sqrt{\left(\frac{1.864 \times 10^6}{2}\right)^2 + (12.645 \times 10^6)^2}$$

$$\sigma_1 = 13.611 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{(3.2 \times 10^6)}{2} - \sqrt{\left(\frac{3.2 \times 10^6}{2}\right)^2 + (20.292 \times 10^6)^2}$$

$$\sigma_2 = -11.747 \text{ MPa}$$

⁴ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 62

⁵ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 107

Según la *Teoría de la distorsión de la energía (Teoría de Von Mises⁶)* tenemos:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(13.611 \times 10^6)^2 + (-11.747 \times 10^6)^2 - (3.611 \times 10^6) \cdot (-11.747 \times 10^6)}$$

$$\sigma' = 21.98 \text{ MPa}$$

El eje para nuestro proyecto está hecho con Acero ASTM 1020, cuyas características⁷ son:

$$S_y = 207 \text{ MPa}$$

S_y = Resistencia máxima a la cedencia

$$E = 207 \text{ GPa}$$

E = Módulo de elasticidad del material

Entonces:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$\sigma' \leq \frac{S_y}{N}$$

$$21.98 \times 10^6 \text{ Pa} \leq \frac{207 \times 10^6 \text{ Pa}}{3}$$

$$21.98 \text{ MPa} \leq 69 \text{ MPa}$$

Por lo que el eje soportará las cargas a que está sometido.

⁶ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 156

⁷ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Apéndice 5

Para nuestro eje, es preciso realizar el *Diseño a Columna*⁸, por lo que soportará carga axial por compresión, con lo que nos aseguraremos que el eje no se pandee:

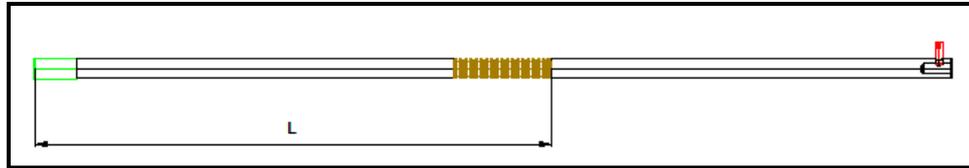


Figura 3.23. Longitud del eje a analizarse.

Entonces la longitud efectiva tenemos:

$$L_e = k \cdot L$$

L_e = Longitud efectiva

Donde: k = Constante que depende de la fijación de los extremos

L = Longitud real

$$L = 0.4335 \text{ m (figura 3.23.)}$$

Para la columna que se encuentran empotrada a un extremo y atornillada al otro, el factor de fijación en los extremos es $k = 0.8$, y la longitud efectiva es:

$$L_e = 0.8 \cdot (0.4335 \text{ m}) = 0.3468 \text{ m}$$

Razón de delgadez:

$$\text{Razón de delgadez} = \frac{L_e}{r}$$

$$r = \frac{D}{4}$$

$$\text{Razón de delgadez} = \frac{4 \cdot L_e}{D} = \frac{4 \cdot (0.3468 \text{ m})}{0.016 \text{ m}} = 86.7$$

r = radio de giro

⁸ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 176

Para analizar que tipo de columna tenemos, es decir columna corta o columna larga determinamos la *razón de transición de delgadez* y tenemos:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E}{S_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot (207 \times 10^9 \text{ Pa})}{207 \times 10^6 \text{ Pa}}} = 140.496$$

Comparamos $k \cdot L/r$ y C_c

Como $k \cdot L/r$ es menor que C_c , la columna es corta. Por lo que determinamos la carga crítica P_{cr} , con la fórmula de **J. B. Jonson**⁹.

$$P_{cr} = A \cdot S_y \cdot \left[1 - \frac{S_y \cdot \left(\frac{k \cdot L}{r} \right)^2}{4 \cdot \pi \cdot E} \right]$$

$$P_{cr} = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot (207 \times 10^6 \text{ Pa}) \cdot \left[1 - \frac{(207 \times 10^6 \text{ Pa}) \cdot (66.7)^2}{4 \cdot \pi \cdot (207 \times 10^9 \text{ Pa})} \right]$$

$$P_{cr} = 33.69 \text{ kN}$$

Entonces comparamos la carga crítica con la carga que va a ser sometido el eje:

$$P_{cr} = N \cdot F_e$$

$$\frac{P_{cr}}{N} \geq F_e$$

⁹ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 184

$$\frac{33.69 \times 10^3 \text{ N}}{3} \geq 374.79 \text{ N}$$

$$11230 \text{ N} > 374.79 \text{ N}$$

Por lo que el eje soportará el esfuerzo y no se deformará.

DISEÑO DEL ENGRANE:

Ahora, diseñaremos un engrane recto por la facilidad de fabricación e instalación, con el que lograremos ejercer suficiente fuerza para la inserción de cada marcha y lograr el movimiento requerido.

De la **tabla 3.4.**, tenemos la potencia y el número de revoluciones del motor No. 2:

$$H = 31 \text{ W}$$

$$n = 133 \text{ rpm}$$

Para nuestro mecanismo necesitamos una fuerza que sea mayor o igual que la fuerza de diseño $F_e = 374.79 \text{ [N]}$, entonces:

$$H = \frac{T_{m_2} \cdot n_{m_2}}{30}$$

\Rightarrow

$$T_{m_2} = \frac{30 \cdot H}{n_{m_2}}$$

H_{m_2} = Potencia del motor No. 2 [W]

T_{m_2} = Torque del motor No. 2 [N·m]

n_{m_2} = Número de revoluciones del motor No. 2 [rpm]

Por lo que tenemos:

$$T_{m_2} = \frac{30 \cdot 31 \text{ W}}{33 \text{ rpm}}$$

$$T_{m_2} = 7 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Entonces como se debe transmitir una fuerza de 374.79 [N], estimamos el diámetro sobre el cual se fabricará el engrane (**figura 3.24.**):

$$T_{m_2} = r_p \cdot F_e$$

$$r_p = \frac{T_{m_2}}{F_e}$$

$$r_p = \frac{6.43 \text{ N}\cdot\text{m}}{374.79 \text{ N}}$$

$$r_p = 0.01715 \text{ m} = 17.15 \text{ mm}$$

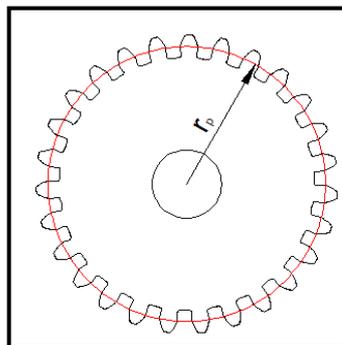


Figura 3.24. Engrane.

Una vez determinado el radio de paso del engrane, escogemos un *paso diametral estándar*¹⁰, para la posterior fabricación:

¹⁰ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 384

Paso diametral	$P_d = 20 \frac{\text{dientes}}{\text{in}}$
Radio de paso	$r_p = 17.15 \text{ mm}$
Diámetro de paso	$D_p = 2 \cdot r_p = 2 \cdot (17.15 \text{ mm}) = 1.35 \text{ in}$

Entonces determinamos el número de dientes:

$$D_p = \frac{N}{P_d}$$

$$N = P_d \cdot D_p$$

$$N = \left(20 \frac{\text{dientes}}{\text{in}} \right) \cdot (1.35 \text{ in}) = 27 \text{ dientes}$$

El material el cual estará hecho el engrane será de bronce, debido a las buenas propiedades que tiene este en cuanto al desgaste, coeficientes de fricción bajos y la resistencia a la corrosión.

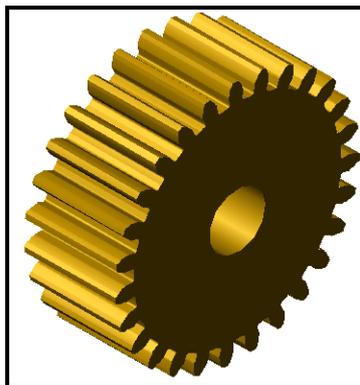


Figura 3.25. Engrane del motor No 2.

En la parte media del eje se ha realizado una cremallera de tipo circular cuya longitud es de 86 [mm.] con lo cual abastecerá al recorrido del mecanismo que se realiza para cada marcha, con el mismo paso del engrane, para poder transmitir el movimiento axial requerido, desde el motor No. 2 (**figura 3.26.**).

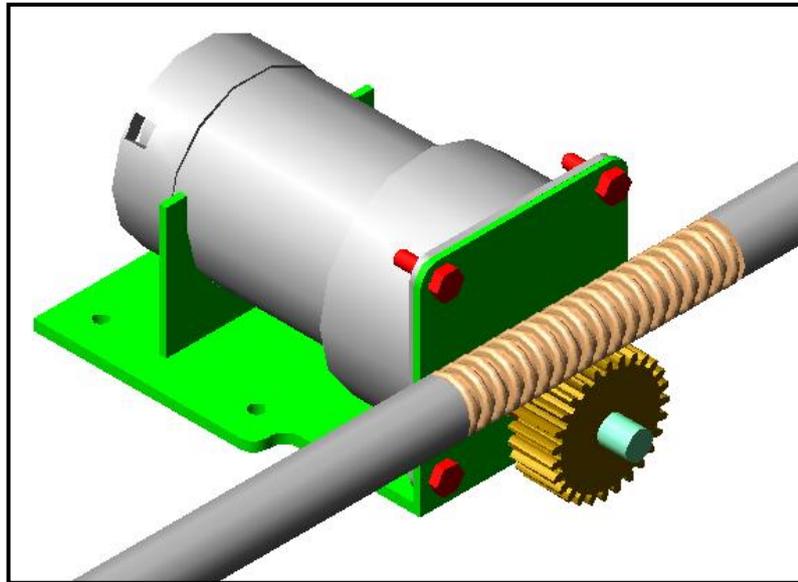


Figura 3.26. Motor No. 2 (movimiento axial).

En la parte inicial del eje se ha realizado una perforación de diámetro y profundidad tal que pueda ingresar el eje del motor No. 1 (**figura 3.28.**), además la colocación de un perno prisionero para asegurar que no haya ningún tipo de deslizamiento. (**figura 3.27.**).

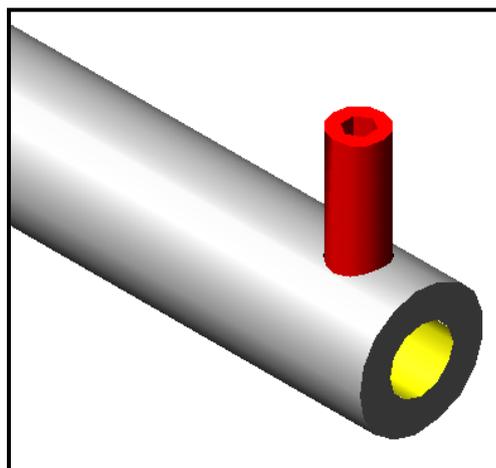


Figura 3.27. Eje principal de accionamiento (parte inicial).

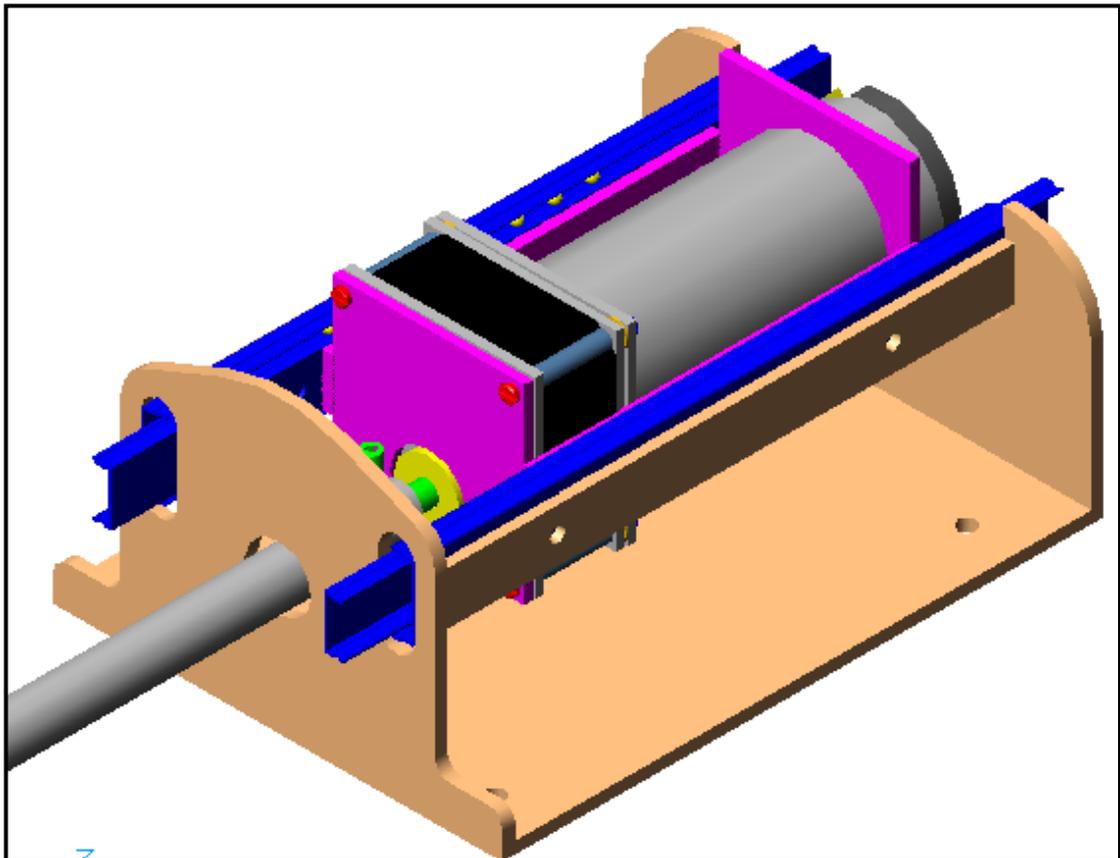


Figura 3.28. Motor No. 1 (movimiento giratorio).

3.2.3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE:

Una vez decidido la ubicación de los motores es necesario realizar las bases de soporte para los motores tal como se muestra en la **figura 3.29**. esta base sostendrá al motor No. 2 fijamente; mientras que en la **figura 3.30**. soportará al motor No. 1, además esta base será móvil a través de rieles para lograr el movimiento requerido para el mecanismo.

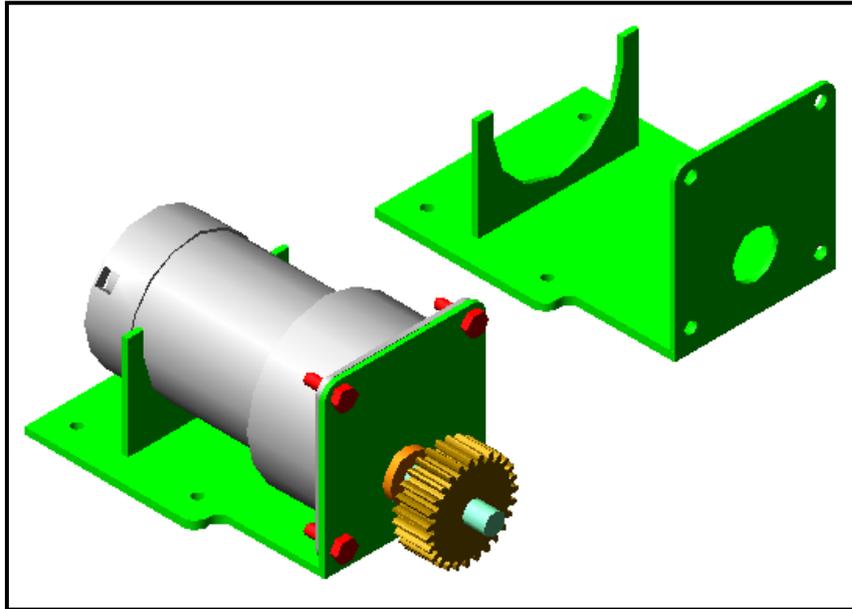


Figura 3.29. Base para el motor No. 2.

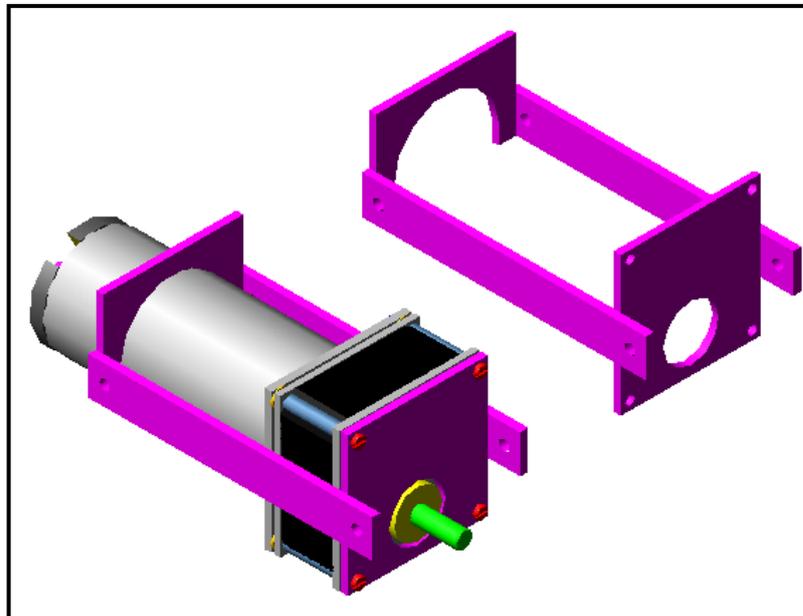


Figura 3.30. Base para el motor No. 1.

La base principal estará bajo cargas aplicadas especialmente por el motor No. 1, por que analizamos a los esfuerzos a los que está sometido (**figura 3.31.**)

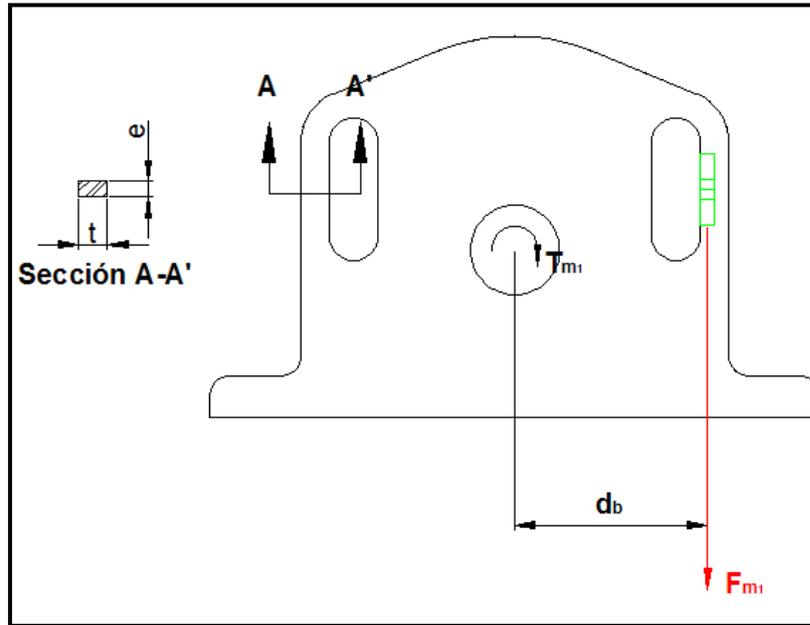


Figura 3.31. Representación de la base principal.

La distancia hasta donde se ejerce la fuerza F_{m1} (figura 3.31.) es:

$$d_b = 0.04736 \text{ m}$$

Calculamos el torque que nos proporciona el motor No. 1 con la siguiente expresión y con los datos de potencia H y número de revoluciones n de la **tabla 3.4.**

$$H_{m1} = \frac{T_{m1} \cdot n_{m1}}{30}$$

$$T_{m1} = \frac{30 \cdot H_{m1}}{n_{m1}}$$

$$T_{m1} = \frac{30 \cdot \left(\begin{matrix} 45 \text{ W} \\ 13 \text{ rpm} \end{matrix} \right)}{13}$$

$$T_{m1} = 12 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Entonces la fuerza que ejercerá sobre la base principal (**figura 3.31.**) será:

$$T_{m1} = d_b \cdot F_{m1}$$

$$F_{m1} = \frac{T_{m1}}{d_b}$$

$$F_{m1} = \frac{12 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.04736 \text{ m}}$$

$$F_{m1} = 253.378 \text{ N}$$

Analizamos la sección A-A' (**figura 3.31**), porque en dicha sección es la más crítica debido a que es más delgada, determinamos la *Tensión por esfuerzo de corte*¹¹ y tenemos:

$$\tau_b = \frac{F_{m1}}{A_s}$$

Determinamos el área de la sección A-A' (**figura 3.31**)

$$A_s = t \cdot e$$

$$A_s = (0.004) \cdot (0.007) \text{ m}^2$$

$$A_s = 28 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Entonces:

$$\tau_b = \frac{253.378 \text{ N}}{28 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\tau_b = 9.05 \text{ MPa}$$

¹¹ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 66

El material para el cual está hecha la base principal es de Acero estructural¹² ASTM A-36 cuya *resistencia máxima a la cedencia* es:

$$S_y = 248 \text{ MPa}$$

Según la *teoría de la falla por tensión debida al esfuerzo de corte*¹³, tenemos:

$$\tau_{\max} = \frac{0.5 \cdot S_y}{N}$$

$$\tau_{\max} = \frac{0.5 \cdot 248 \text{ MPa}}{3}$$

$$\tau_{\max} = 41.33 \text{ MPa}$$

Entonces establecemos una comparación entre los dos esfuerzos para descartar una posible falla por el esfuerzo ejercido sobre la base principal:

$$\tau_b < \tau_{\max}$$

$$9.05 \text{ MPa} < 41.33 \text{ MPa}$$

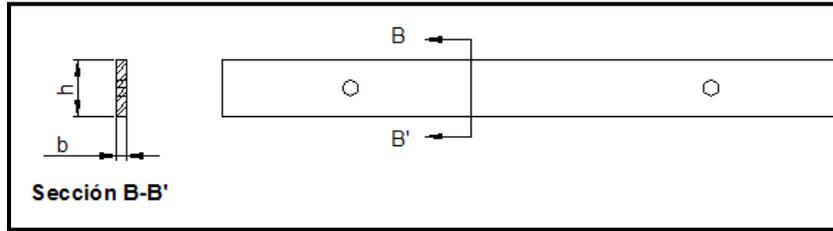
Por lo que la base principal soportará el esfuerzo al que estará sometido.

DISEÑO DEL SOPORTE DEL MOTOR No. 1:

Ahora analizamos el soporte pertenece a la base principal, es decir una pieza de sección rectangular (**figura 3.32.**).

¹² MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Apéndice 7

¹³ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 156



El soporte está sometido a la fuerza, F_{m1} del motor No. 1, que genera un esfuerzo de corte τ_{br} , el cual lo determinamos con la siguiente expresión:

$$\tau_{br} = \frac{F_{m1}}{A_{sr}}$$

Siendo A_{sr} el valor del área transversal de la sección rectangular donde se aplica la carga, refiriéndonos a la **figura 3.32**. tenemos:

$$A_{sr} = b \times h$$

$$A_{sr} = (3.5 \times 10^{-3} \text{ m})(17.5 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$A_{sr} = 61.25 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Entonces tenemos:

$$\tau_{br} = \frac{F_{m1}}{A_{sr}}$$

$$\tau_{br} = \frac{253.378 \text{ N}}{61.25 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{br} = 4.14 \text{ MPa}$$

Como esta pieza está hecha con el mismo material de la base principal, es decir acero estructural A-36, entonces comparamos el esfuerzo que se produjo

en esta pieza, según *teoría de la falla por tensión debida al esfuerzo de corte*, por lo que tenemos que:

$$\tau_{br} < \tau_{\max}$$

$$4.14 \text{MPa} < 41.33 \text{MPa}$$

Por lo tanto el soporte del motor No. 1, sobrellevará el esfuerzo al que estará sometido.

DISEÑO DE LA SOLDADURA

A continuación analizaremos si los ensamblados soldados soportan la carga a la cual estarán sometidos, en todos los ensamblados se ha utilizado la suelta por arco eléctrico con el electrodo E6011, como se muestra en la **figura 3.33.**, se ha realizado la soldadura de chaflán en la esquina

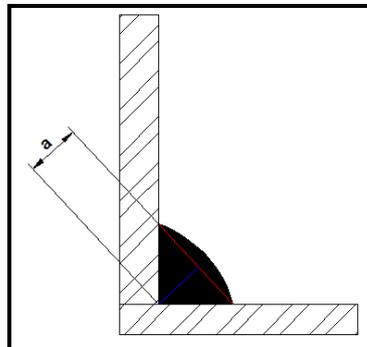


Figura 3.33. Sección de Soldadura de chaflán en la esquina.

Por lo que el esfuerzo máximo de la suelta $\tau_{\max(s)}$ queda determinado por:

$$\tau_{\max(s)} = \frac{F_{m1}}{A_{\text{suelta}}}$$

Siendo A_{suelta} donde se aplica la carga y el esfuerzo de corte permisible¹⁴

$\tau_{\max \text{ suelta}}$, tenemos;

¹⁴ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 767

$$A_{\text{suelda}} = a \cdot l$$

$$\tau_{\text{max suelda}} = 124 \text{ MPa}$$

l = longitudde la suelda

Entonces:

$$\tau_{\text{max(s)}} = \frac{253.378 \text{ N}}{0.8 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 7.5 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\tau_{\text{max(s)}} = 5.17 \text{ MPa}$$

Realizamos una comparación entre los esfuerzos para saber si el ensamble es correcto y no existirá una falla en la soldadura.

$$\tau_{\text{max(s)}} \leq \frac{\tau_{\text{max suelda}}}{N}$$

$$5.17 \text{ MPa} \leq \frac{124 \text{ MPa}}{3}$$

$$5.17 \text{ MPa} \leq 41.3 \text{ MPa}$$

Por lo que el ensamble será muy resistente y no existirá fallas en las soldaduras.

DISEÑO DE LOS PERNOS:

Ahora analizaremos los pernos, los cuales sostienen o fijan la base principal, estos pernos están bajo cargas las cuales generan tensión.

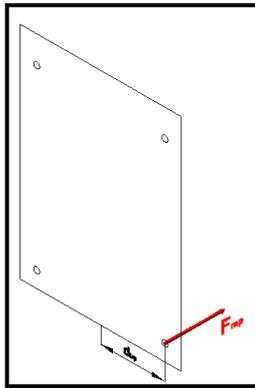


Figura 3.34. Sección de la base principal.

Los pernos son de ¼ in debido ya que esta es la medida de los pernos que sujetan la base original de la palanca de cambios, la tensión σ_p al que están expuestos los pernos se los determina por:

$$\sigma_p = \frac{F_{mp}}{A_{perno}}$$

Donde F_{mp} , es la fuerza que ejerce el motor No. 1 (**figura 3.34.**) al tratar de tensionar los pernos y A_{perno} es el área de la sección transversal del perno.

$$F_{mp} = \frac{T_{m1}}{d_{bp}}$$

$$F_{mp} = \frac{(12 \text{ N} \cdot \text{m})}{(58.5 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$F_{mp} = 205.13 \text{ N}$$

Los pernos se fabrican de acero debido a su alta resistencia, por lo que dependiendo del tamaño del perno y del diámetro básico obtenemos la resistencia al esfuerzo de tracción¹⁵ y el área de esfuerzo a tracción¹⁶ así:

¹⁵ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 743

¹⁶ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 747

$$S_{ut} = 60 \text{ Ksi} = 414 \text{ MPa}$$

$$A_{perno} = 22 \text{ mm}^2$$

Entonces

$$\sigma_p = \frac{205.13 \text{ N}}{22 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_p = 9.32 \text{ MPa}$$

Realizamos la comparación de los dos esfuerzos según la tensión por esfuerzo de tracción¹⁷ y tenemos:

$$\sigma_p \leq \frac{S_{ut}}{N}$$

$$9.32 \text{ MPa} \leq \frac{414 \text{ MPa}}{3}$$

$$9.32 \text{ MPa} \leq 138 \text{ MPa}$$

Por lo que los pernos soportarán a la carga que estarán sometidos.

La base principal del mecanismo así como las dimensiones se muestra en el Anexo B, la cual estará ubicada aprovechando el espacio en la parte que estaba originalmente la base de la palanca de cambios.

¹⁷ MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da. edición 1992. Pág. 155

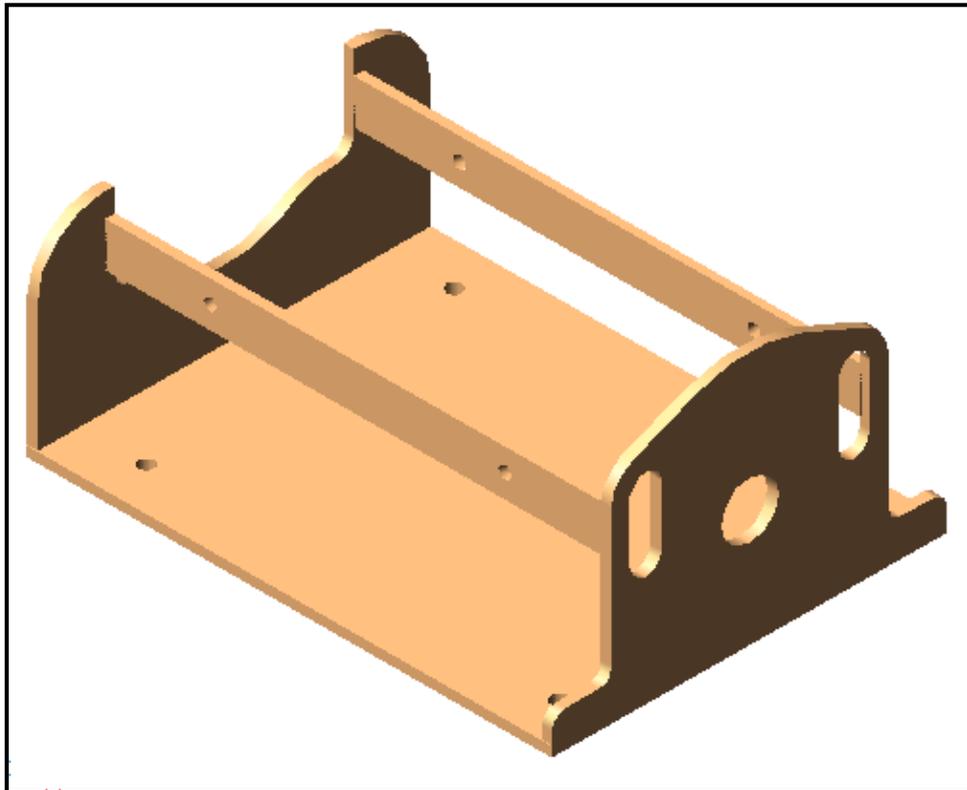


Figura 3.35. Base del mecanismo.

Además se colocó un soporte en la parte intermedia, con un bocín de caucho para lograr un apoyo más estable al eje y así evitar que tenga posteriores vibraciones, como se muestra en la **figura 3.36**.

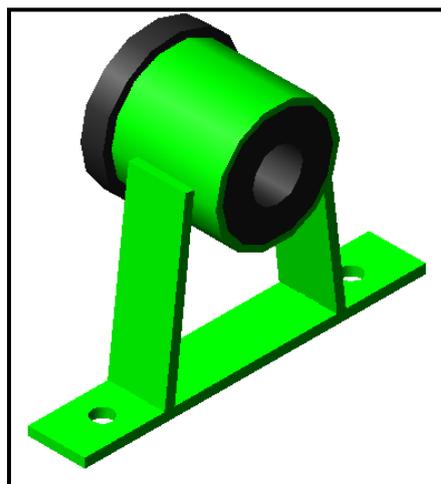


Figura 3.36. Soporte intermedio.

Posteriormente se tuvo que diseñar un mecanismo tal que hiciera un tope para la posición de las marchas primera y segunda, pero a la vez permitiese ubicar la posición de la marcha reversa, ya que en la práctica existía ese problema pero después de varios intentos se logró diseñar el mecanismo para el posicionamiento de la primera y segunda marcha, como se muestra en la **figura 3.37.**,

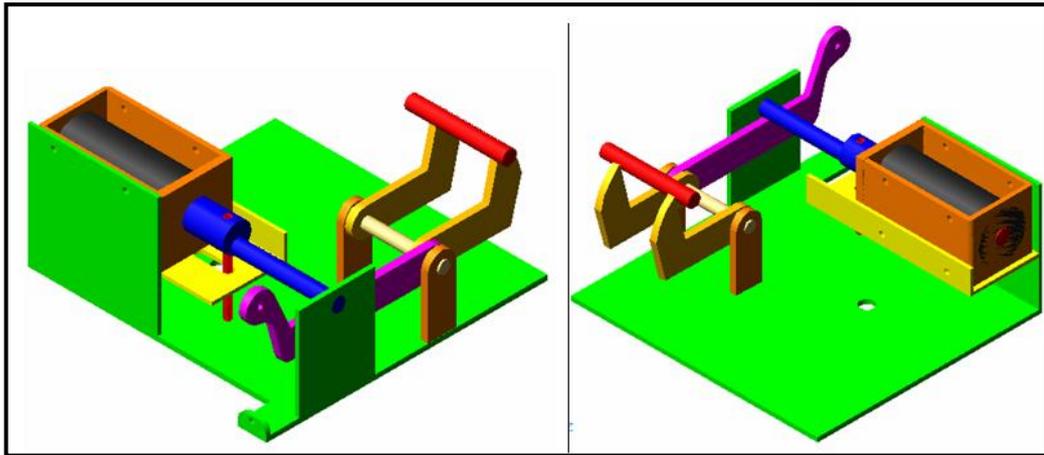


Figura 3.37. Mecanismo de posicionamiento de 1ra. y 2da. marchas.

Entonces el diseño final del proyecto quedaría tal como se muestra en la **figura 3.38.**

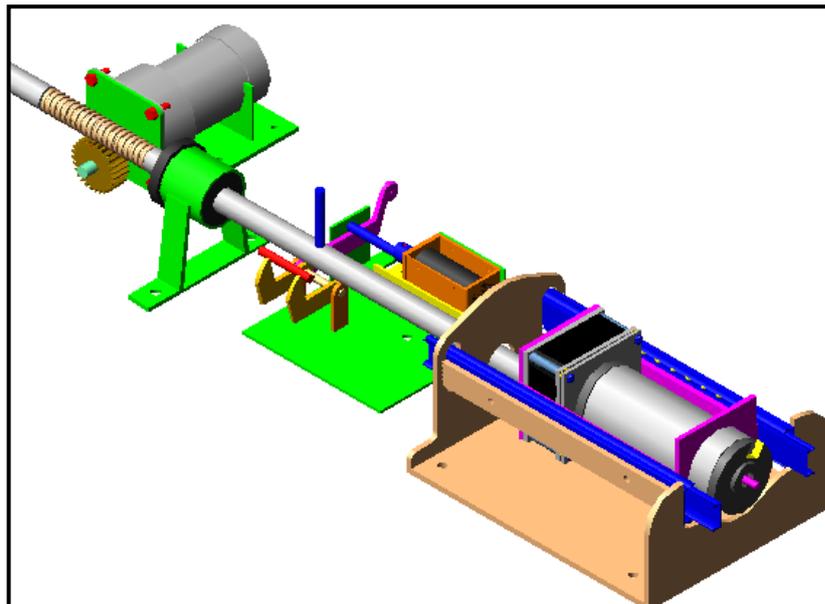


Figura 3.38. Mecanismo final.

3.3 DISEÑO ELECTRÓNICO:

Los parámetros considerados para la elaboración del proyecto, se refieren a las señales enviadas y recibidas de los sensores y actuadores (motores) hacia una placa de control electrónico elaborada, utilizando microcontroladores.

3.3.1 PARÁMETROS Y SEÑALES CONSIDERADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ACTIVACIÓN Y CONTROL DE VELOCIDADES.

El siguiente diagrama de bloques (**figura 3.39.**) ilustra el seguimiento de las entradas y salidas, siguiendo una lógica para la cual se desea que funcione.

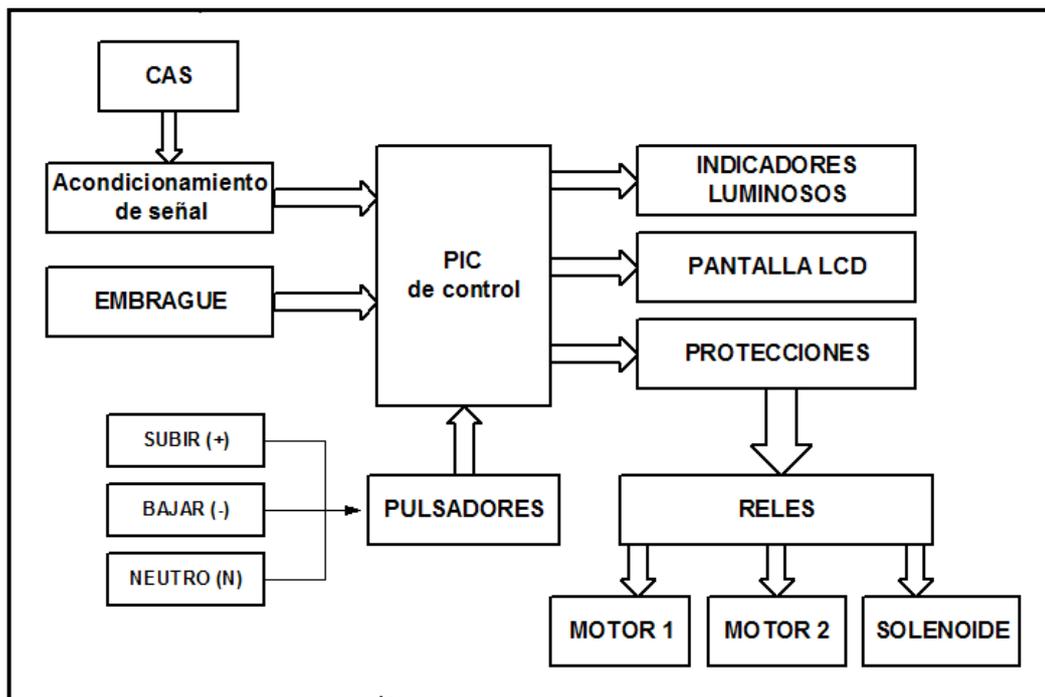


Figura 3.39. Diagrama de bloques de entradas y salidas.

Para poder controlar el mecanismo se ha tomado en cuenta varios parámetros necesarios como son:

3.3.1.1 RÉGIMEN DE GIRO DEL MOTOR

En cuanto a este parámetro se ha tomado en cuenta como referencia las revoluciones en la cual se produce la potencia máxima neta y el par motor máximo neto a 6000 RPM y 3000 RPM respectivamente; por lo que hay que acelerar hasta las 6000 RPM y cambiar a una marcha superior, y cuando al aumentar el par resistente baja el número de revoluciones a las 3000 RPM, hay que cambiar a una marcha más corta. En la práctica, conduciendo normalmente, no se busca el máximo rendimiento, sino un consumo moderado y una conducción cómoda, y por ello la utilización se haría entre las 2500 y las 4000 RPM, ya que en estos límites consideramos que la curva del par se mantiene alta y la del consumo baja. En general, cuando más plana sea la curva del par del motor, menor uso hay que hacer de la caja de cambios.

Combinando estos dos parámetros el de velocidad del vehículo frente al régimen de giro del motor y además una prueba a bordo del auto se ha decidido que la programación del microcontrolador debía cumplir con las siguientes condiciones:

- La condición principal es que para todas las marchas antes de engranarlas; es decir antes que trabajen los motores de CD se debe accionar o presionar el pedal del embrague. (señal de entrada al microcontrolador mediante un interruptor).
- Para poder encender el vehículo accionar o presionar a fondo el pedal del embrague para que posteriormente el mecanismo se ponga en la posición de neutro.
- Como va a existir una luz indicadora para el cambio de marcha color roja las revoluciones deben ser mayores que 4000 RPM, para todas las marchas excepto 5ta. por lo expuesto anteriormente.
- De la misma manera existirá una luz indicadora de color azul que nos va a indicar que estamos en el correcto funcionamiento del motor es decir se encenderá cuando las revoluciones sean menores o iguales de 4000 RPM.

- Para poder seleccionar la marcha de reversa la velocidad del vehículo debe ser de 0 Km./h, es decir el régimen de giro del motor debe ser la velocidad de ralentí.
- El pulsador de N sirve para que el mecanismo a través de los motores de CD ponga en la posición de neutro.
- El indicador visual (*pantalla LCD*) mostrará la marcha en la que se encuentre.

Estas como condiciones básicas y de seguridad que deba cumplirse ya que es el conductor con su criterio el que va a elegir la marcha adecuada.

3.3.2 SEÑALES Y SU PROCESAMIENTO

3.3.2.1 CAS (SENSOR DE REVOLUCIONES DEL CIGÜEÑAL):

En esta etapa de nuestro proyecto se ha tomado en cuenta el sensor CAS (Sensor de revoluciones del cigüeñal) el cual es de tipo inductivo (**figura 3.40.**) el cual nos van ha proporcionar una señal de tipo analógica la cual será analizada para su procesamiento.



Figura 3.40. Sensores de posición tipo inductivo.

Está compuesto por una bobina e imanes y un rotor generador de señales a medida que el rotor gira se produce un voltaje AC cuando el diente del rotor de señales coincide con el diente generador de señales. La resistencia de este sensor suele ser de 1 – 2 Ω y generan un voltaje de 0 – 120 Vac.

Se usa para calcular la velocidad del motor en RPM

Se monta enfrente a la rueda fónica, que es una rueda dentada que gira solidaria al cigüeñal, como se muestra en la **figura 3.41**. Esta rueda consta de 58 dientes más un hueco correspondiente a la anchura de dos dientes, detectándose así que el cigüeñal ha realizado una vuelta completa. Este hueco también define el punto muerto superior (PMS) del cilindro 1.

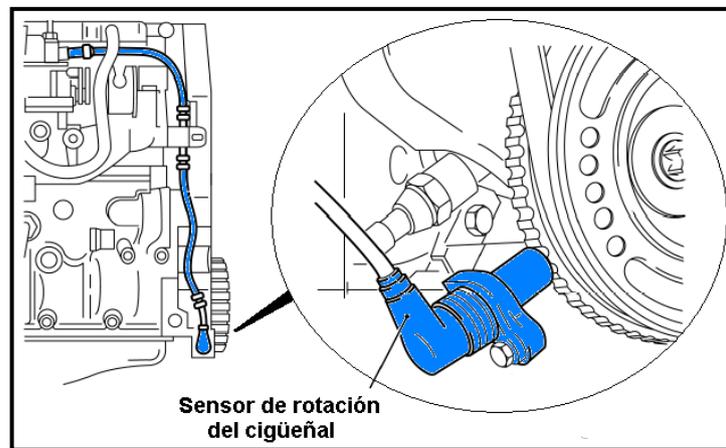


Figura 3.41. Ubicación del sensor de rotación del cigüeñal.

La señal que genera este sensor se muestran en: **figura 3.42.**, **figura 3.43.** y **figura 3.44.**

Un periodo de la señal contiene 58 oscilaciones más un tiempo de señal continua correspondiente al hueco en la rueda. El giro del cigüeñal, expresado en (min^{-1}), en función de la frecuencia f_{sens} (Hz.) de la señal generada por el sensor es:

$$n = 60 \cdot f_{\text{sens}}$$

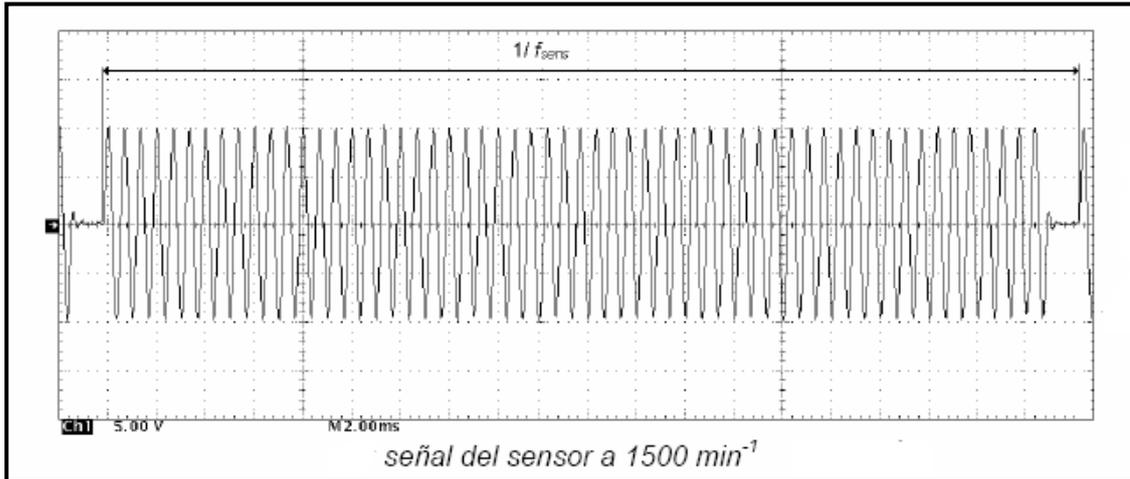


Figura 3.42. Representación de la señal generada por el sensor CAS.

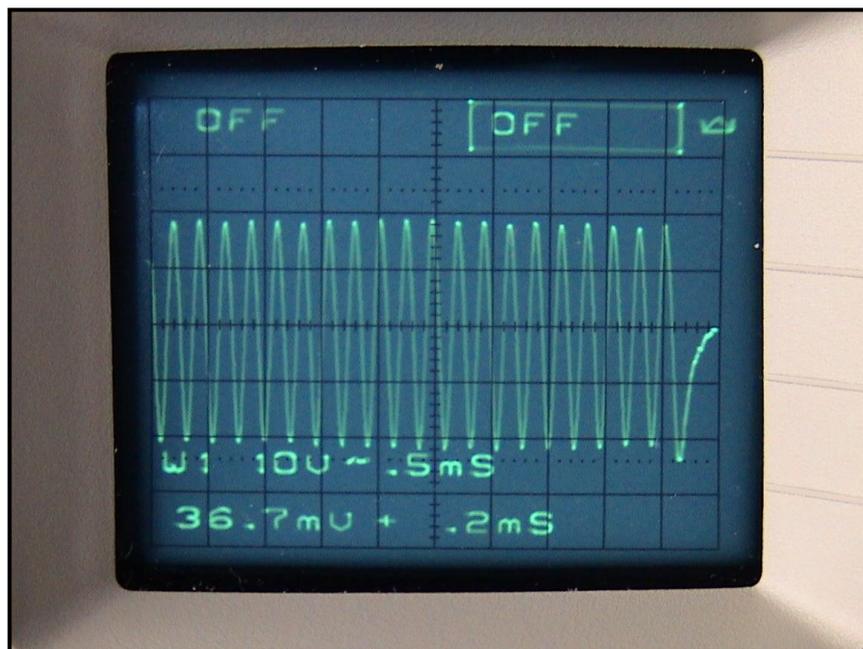


Figura 3.43. Señal del sensor CAS vista en el osciloscopio.

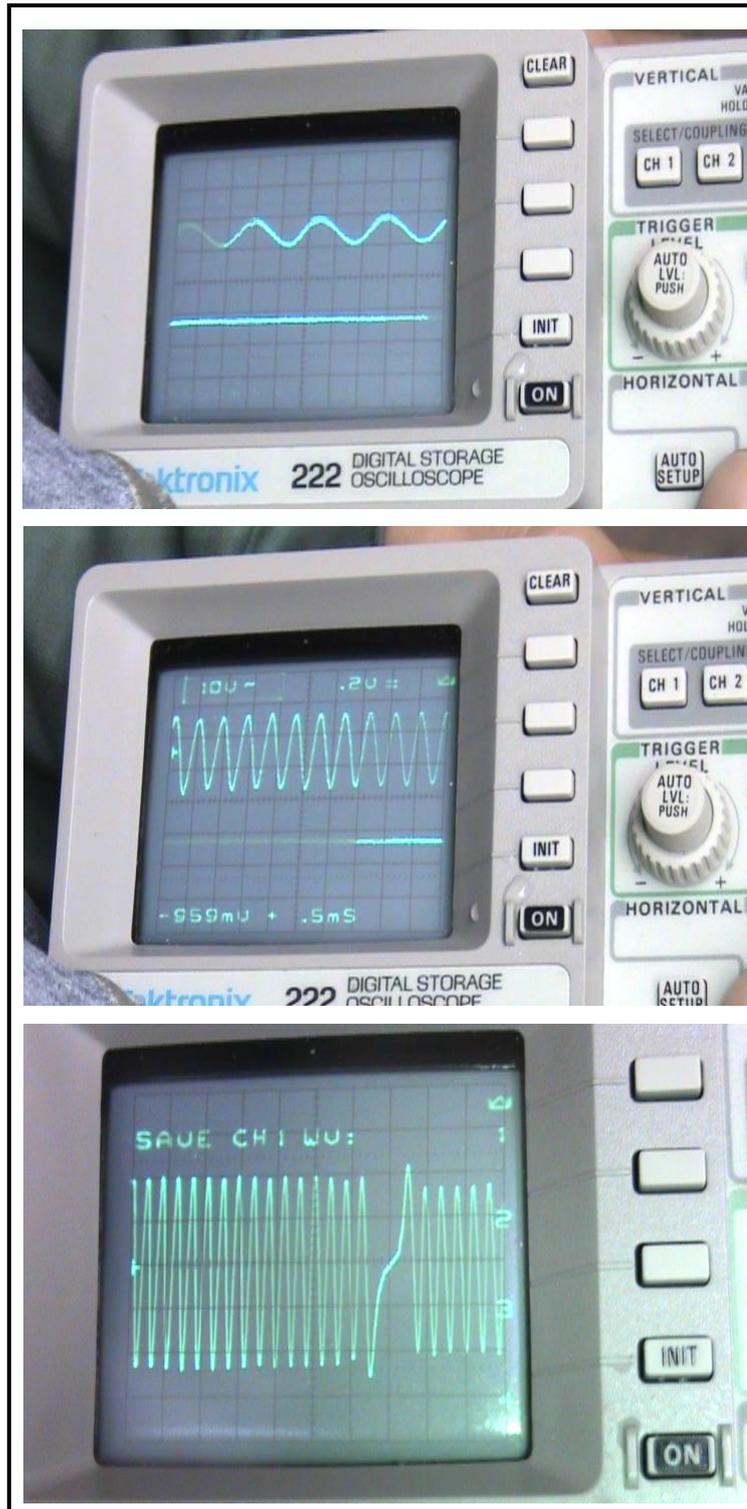


Figura 3.44. Señal generada por el sensor CAS a diferentes velocidades.

3.3.2.2 PULSADORES EN EL VOLANTE PARA LA ELECCIÓN DEL CAMBIO DE MARCHA.

Estos pulsadores se ubicarán en los extremos del volante así como se muestra en la **figura 3.45.**; con lo cual el pulsador de la derecha enviará el pulso para subir las marchas en forma sucesiva, es decir empezará desde NEUTRO a 1ra., 2da., 3ra., 4ta. y 5ta., y el pulsador de la izquierda de la misma forma enviará el pulso para bajar las marchas de 5ta., a 4ta., 3ra., 2da., 1ra., NEUTRO y REVERSA. Por lo que esta instalación resultaba cómoda para el conductor, al no tener que separar las manos del volante.

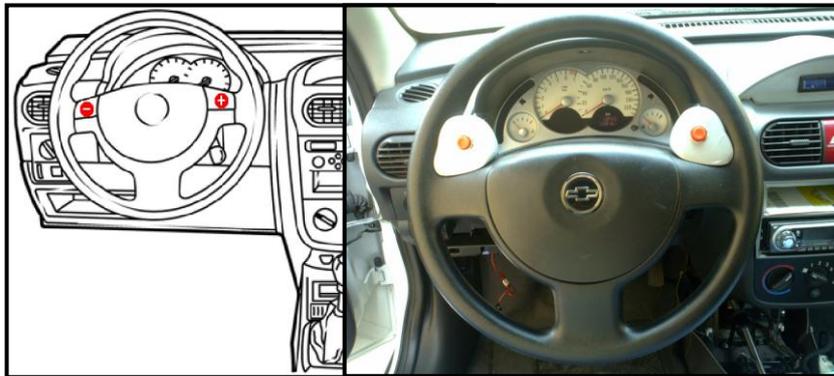


Figura 3.45. Ubicación de los pulsadores en el volante.

3.3.2.3 INTERRUPTOR EN EL PEDAL DEL EMBRAGUE

El interruptor del embrague (**figura 3.46.**) servirá como una señal de entrada para el microcontrolador, mediante esta señal pueda utilizarlo como una condición previa antes de hacer operar los motores de CD.

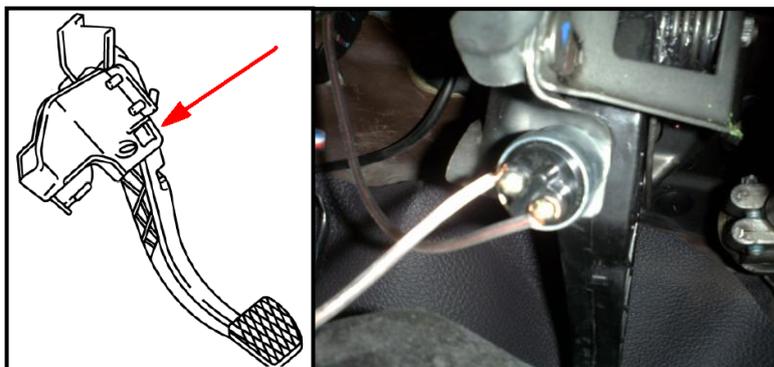


Figura 3.46. Pedal de embrague.

3.3.2.4 PULSADOR N PARA LA POSICIÓN DE NEUTRO.

El pulsador N estará ubicado en la parte central, es decir en donde se ubicaba la manopla de la palanca de cambios manual; para que exista mayor control siendo este el único pulsador en esta ubicación (**figura 3.47.**) para accionar el mecanismo, el que servirá para ponerlo en la posición neutral. Este pulsador servirá para cuando el conductor se detenga y así logre rápidamente insertar una marcha baja, y cuando se detenga por completo dejando así de presionar la palanca del embrague.



Figura 3.47. Ubicación del pulsador de la posición NEUTRO.

3.3.3 SEÑALES DE SALIDA

Las señales de salida son a través del microcontrolador las cuales harán operar varios dispositivos como son:

3.3.3.1 CONTROL DE LOS MOTORES DE CD.

Como los motores de CD giran en un sentido horario o anti - horario de acuerdo a la polarización que a estos se los de, se ha realizado una modificación eléctrica a lo que se le denomina puente H para lograr el giro a ambos lados debido a los requerimientos tal como se muestra en la **Figura 3.48.**

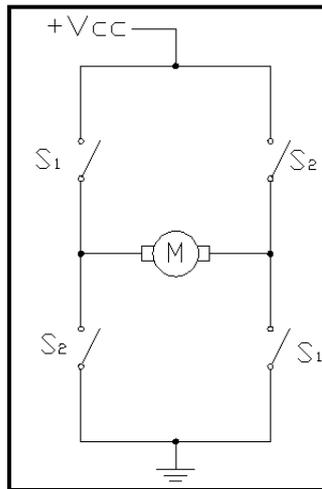


Figura 3.48. Puente H.

Para el control de los motores de CD se los hará mediante unos relés para optimizar su funcionamiento; debido a la cantidad de corriente que demandarían los mismos; pero estos relés controlados por el circuito principal con los respectivos tiempos.

3.3.3.2 INDICADOR VISUAL (PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO LCD).

Se trata de una pantalla LDC 16x2 de fondo azul y letras blancas; este elemento sirve como información de la marcha engranada y la posibilidad de visualizar en el LCD la relación de velocidades a insertarse. Pues no se concebiría la acción de realizar un cambio de marcha sin esta ayuda. Este indicador estará ubicado en la parte superior de la caja de difusores de aire, como se muestra el la **figura 3.49**.

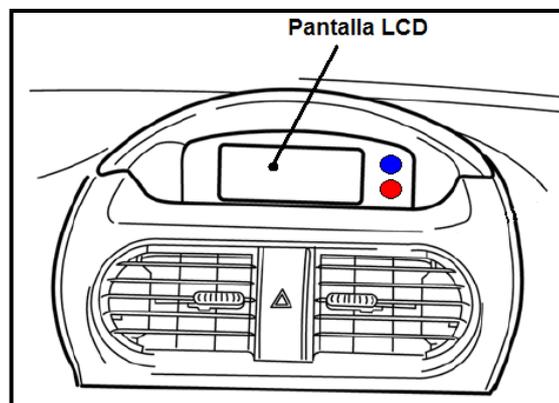


Figura 3.49. Ubicación de la pantalla LCD.

Para cada marcha tendrá una representación en la pantalla LCD (figura 3.50.).



Figura 3.50. Representación de la marchas en la pantalla LCD.

3.3.3.3 INDICADORES LUMINOSOS PARA EL CAMBIO DE MARCHA.

Estos indicadores avisarán al conductor el momento de realizar la siguiente marcha: **luz roja** para optimizar un consumo normal de combustible y para obtener un funcionamiento normal del motor, y **luz azul** para cuando el sistema este funcionando correctamente, y se estará ubicada tal y como se muestra en la **figura 3.51**.

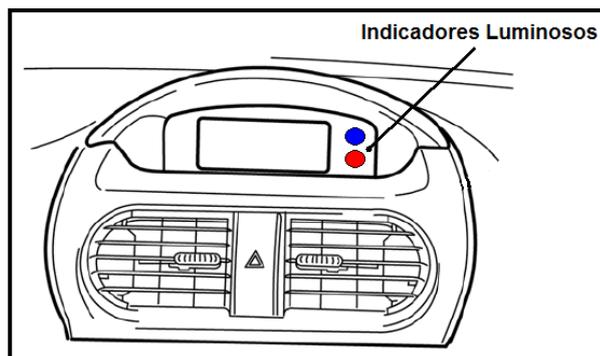


Figura 3.51. Ubicación de los indicadores luminosos.



Figura 3.52. Sitio de ubicación.



Figura 3.53. Panel de visualización

3.3.4 SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Para la selección de los elementos se procede a determinar los parámetros principales que deben cumplir dentro del circuito más las consideraciones de diseño electrónico.

3.3.4.1 REGULACIÓN DE VOLTAJE

Se requiere un voltaje regulado de 5V para la parte de alimentación del sistema de control, tomada de la fuente principal de 12V.

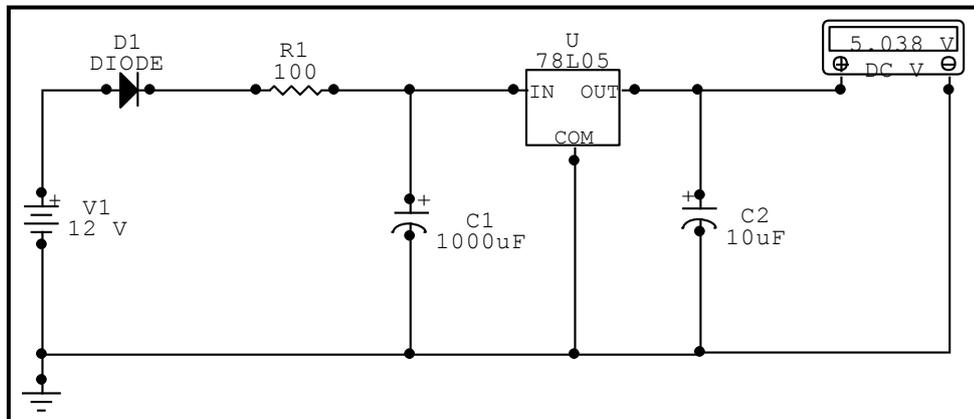


Figura 3.54. Circuito de regulación de voltaje

3.3.4.2 SEÑALES DE CONTROL.

A través de un opto acoplador se procederá a realizar la conmutaciones iniciales para el control y puntos de activación de los transistores para los relés.

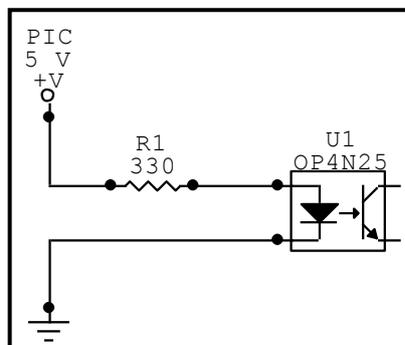


Figura 3.55. Circuito del optoacoplador.

3.3.4.3 CIRCUITO DE CONTROL DE POTENCIA.

A través de los transistores de potencia se realizará la conmutación para el ingreso de señales a los relés.

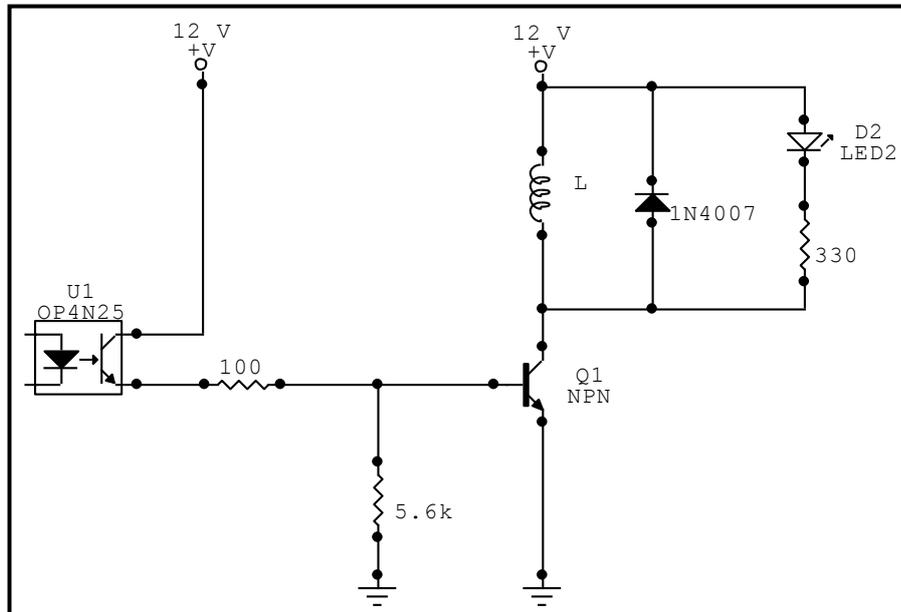


Figura 3.56. Circuito control de potencia

3.3.4.4 CIRCUITO DE CONTROL DE LOS RELÉS.

Se lo realizará a través de dos relés para conmutar la señal hacia los motores.

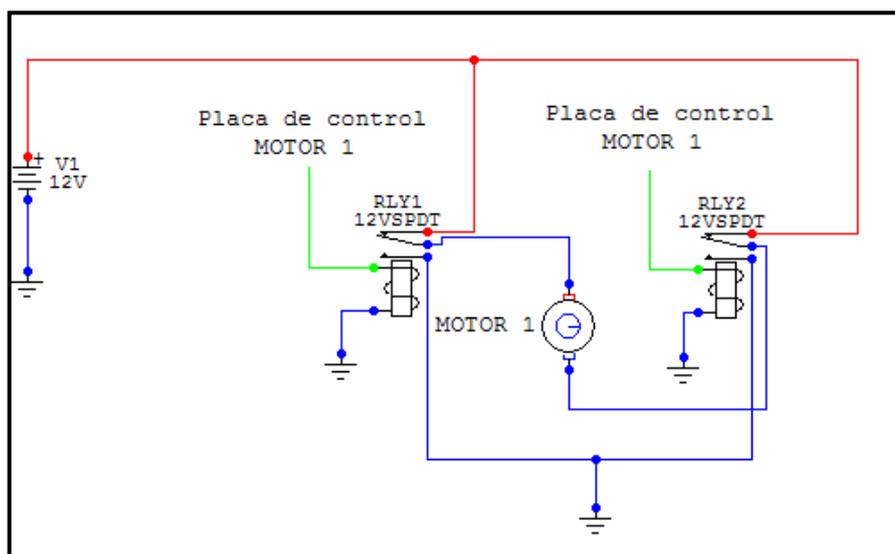


Figura 3.57. Circuito control de los relés.

3.3.4.5 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DEL SENSOR CAS

Para este caso la señal genera es una sinusoidal, con niveles de voltaje hasta 20 Vrms.

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra en la **figura 3.58**.

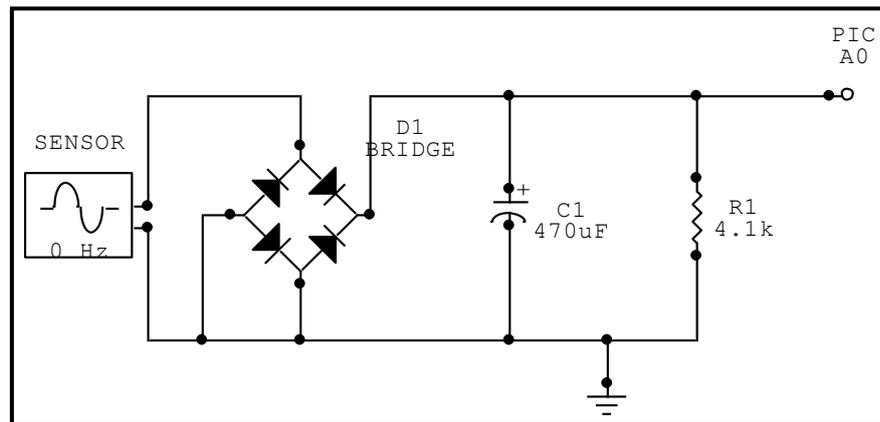


Figura 3.58. Circuito de acondicionamiento de señal del sensor CAS

3.3.5 DISEÑO DEL DIAGRAMA ELECTRÓNICO

Con las consideraciones registradas, de diseño y la aplicación a desarrollar se diagrama el circuito general que será el que se utilice para ser montado previamente en proto para las pruebas respectivas y luego para la instalación definitiva en el Vehículo CORSA EVOLUTION.

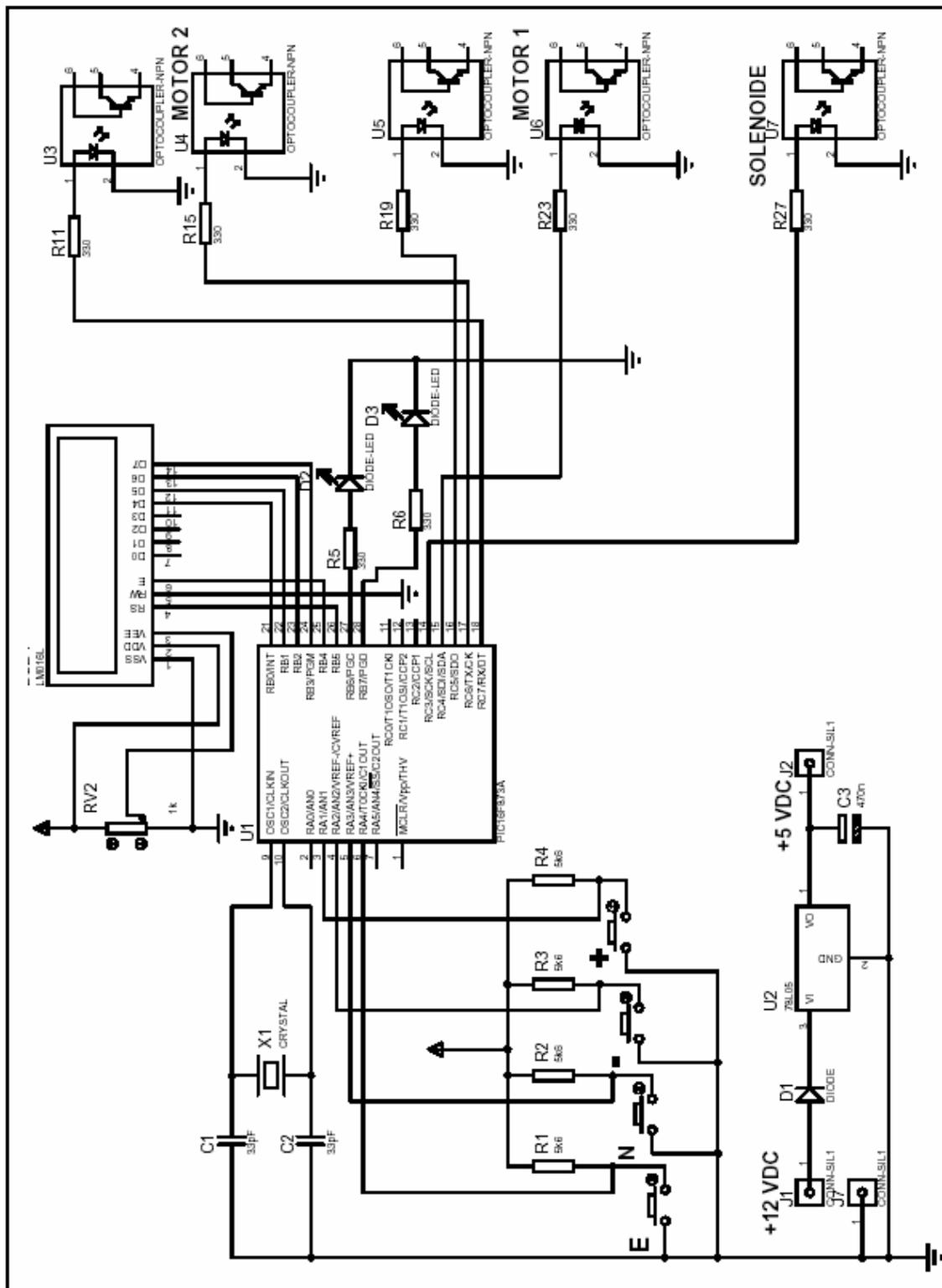


Figura 3.59. Circuito Electrónico de la aplicación (Parte I).

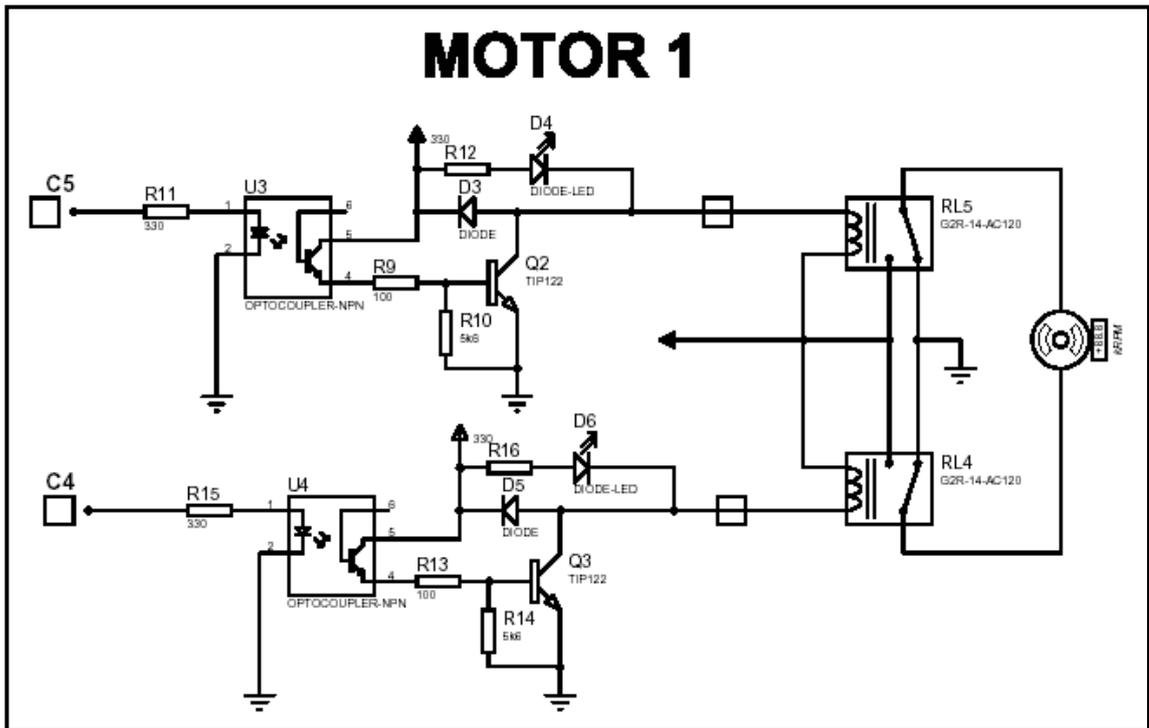


Figura 3.60. Circuito Electrónico de la aplicación (Parte II).

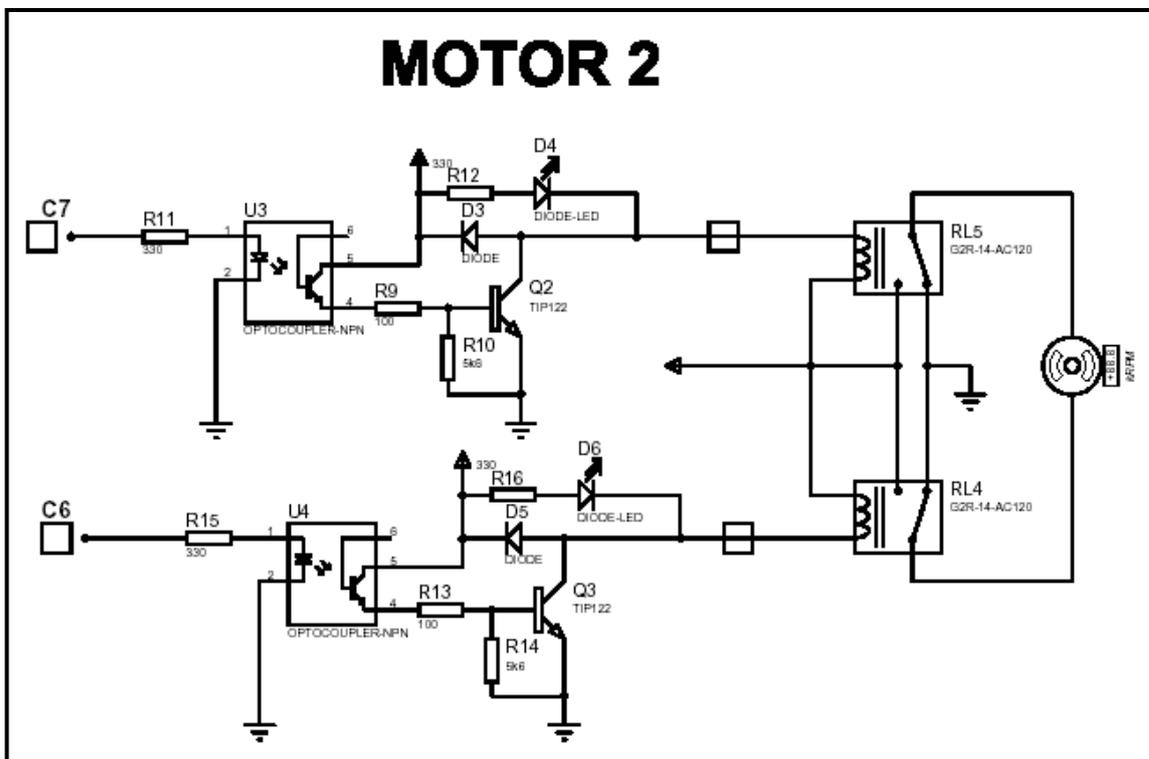


Figura 3.61. Circuito Electrónico de la aplicación (Parte III).

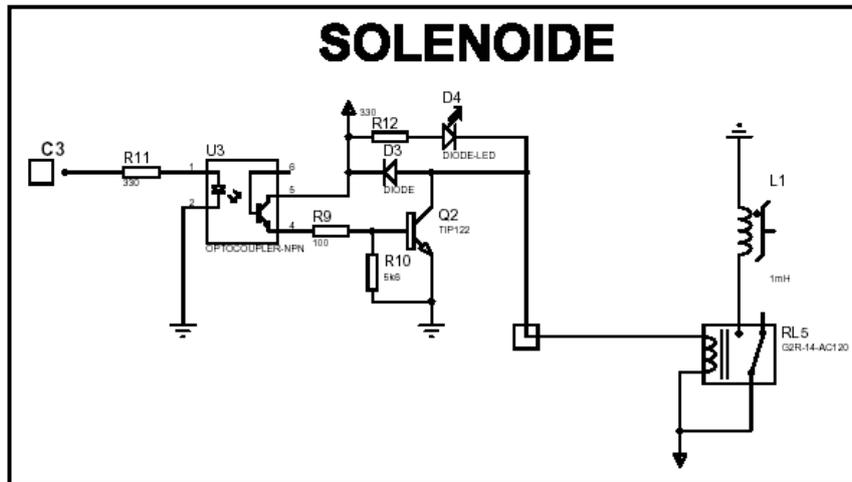


Figura 3.62. Circuito Electrónico de la aplicación (Parte IV).

3.3.5.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES

De acuerdo al circuito electrónico el módulo de entrenamiento dispone de los siguientes componentes:

Tabla 3.5. Componentes

Cant.	Componente	Valor
11	Resistencias	5.6 kΩ @ 1/4W
06	Resistencias	100 Ω @ 1/4W
12	Resistencias	330 Ω @ 1/4W
06	Diodos	1N4007 (NTE 125)
01	Regulador de voltaje	7805A (NTE 960)
05	Transistores	TIP 122 (NTE 261)
05	Optoacopladores	PC817 (NTE 3098)
07	Diodos LED	
01	PIC 16F873	
01	Oscilador	4 MHz
04	Pulsadores	
01	Condensador	470 uF @
01	Condensador	1000 uF @
01	Condensador	100uF @
02	Condensador	22 uF

01	Pantalla LCD	02x16 Back Light AZUL
04	Relés	SPDT @ 30A
01	Interruptor	NO
01	Relé	SPST @ 30A
01	Fusible y porta fusible	
01	Alambre No 14	AWG No. 14

3.3.5.2 DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES DEL MODULO DE CONTROL.

3.3.5.2.1 REGULADOR DE VOLTAJE 7805A (NTE 960).

El regulador de voltaje 7805A es un circuito integrado monolítico diseñado para el uso en la regulación del voltaje de la tarjeta. Este regulador puede entregar corrientes del rendimiento más de 1.0 amperio.

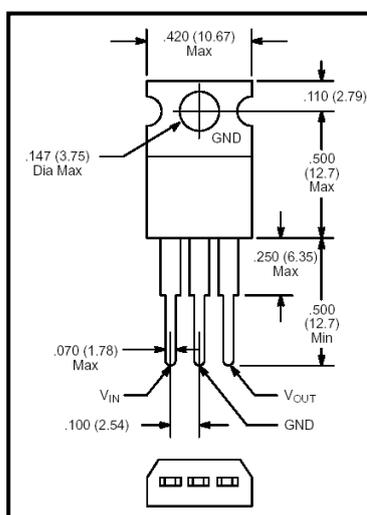


Figura 3.63. Regulador de voltaje.

3.3.5.2.2 OPTOACOPLADOR PC817 (NTE 3098).

Acoplan el pulso de corriente generador por el μ C a los transistores (TIP122) para el control previo de los relés para el control de cada uno de los

circuitos del sistema del cambio de marchas, cuya función principal es separar el circuito (Seguridad), baja potencia – alta potencia.

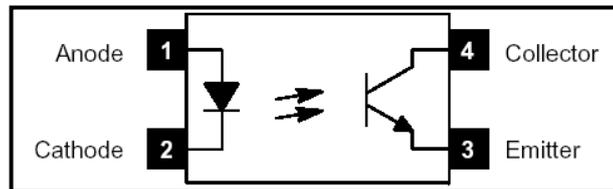


Figura 3.64. Opto acoplador PC817.

3.3.5.2.3 TRANSISTOR TIP 122 (NTE 261).

Preamplifican la corriente del opto transistor para activar los relés de control para los motores de CD y son del tipo NPN.

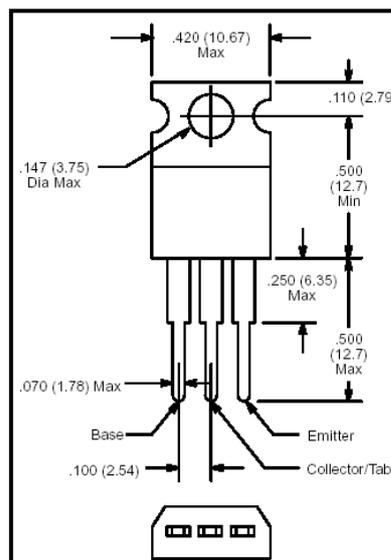


Figura 3.65. Transistor 122.

3.3.5.2.4 PUENTE RECTIFICADOR W10M (NTE 5307).

Este rectifica a onda completa la señal del sensor de revoluciones del cigüeñal, dicha señal rectificada es analizada y comparada por el uC.

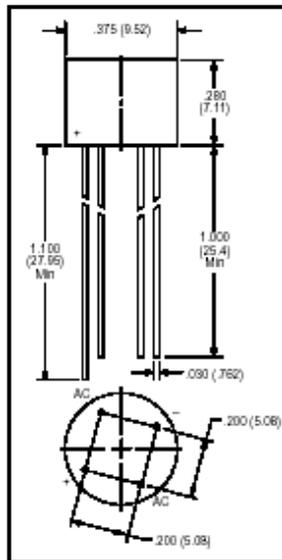


Figura 3.66. Rectificador W10M.

3.3.5.2.5 RELÉS

Controlan la activación y desactivación de cada uno de los circuitos del sistema para el cambio de marchas del vehículo Corsa Evolution.

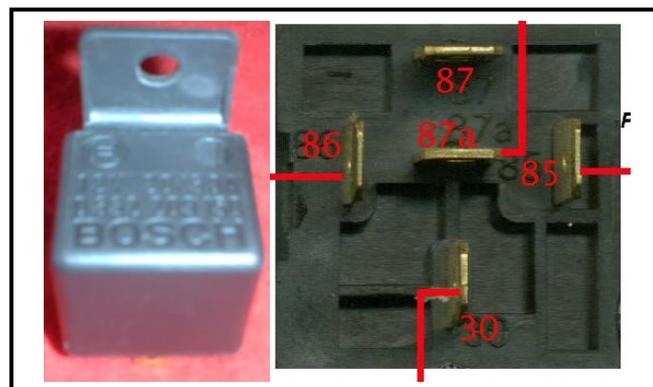


Figura 3.67. Relé.

3.3.5.2.6 MICROCONTROLADOR 16F873.

Recibe señales de activación y procesa la información de acuerdo a su programación para asignar la operación correspondiente para el control de los componentes del sistema de cambios de marcha.

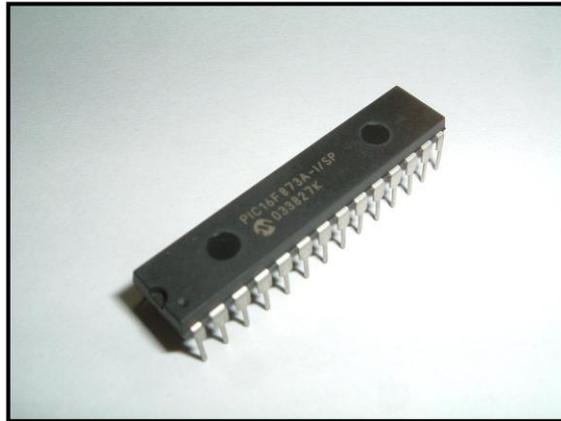


Figura 3.68. PIC 16F873.

3.3.6 MONTAJE Y PRUEBAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS.

Para la aplicación del circuito eléctrico – electrónico en el vehículo Corsa Evolution, se utilizan los componentes que se han indicado anteriormente en la selección, los mismos que se instalarán primero en proto board (**figura 3.69.**); y se verificará que funcionen adecuadamente para trasladarlo a una placa.

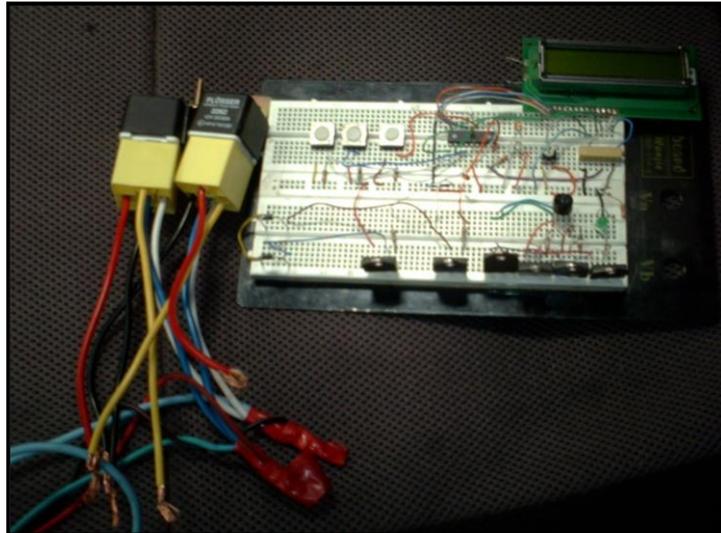


Figura 3.69. Montajes iniciales en proto board.

Con la consideración anterior se procede a realizar el montaje y la instalación de todos los elementos del sistema de control, considerando que el componente para la aplicación es el PIC16F873, el cual ya fue programado en el software MicroCode Studio (**figura 3.70**) y luego grabado (**figura 3.71 y**

figura 3.72.). Es necesario ayudarse del manual electrónico (ECG) para la conexión de cada uno de los componentes.

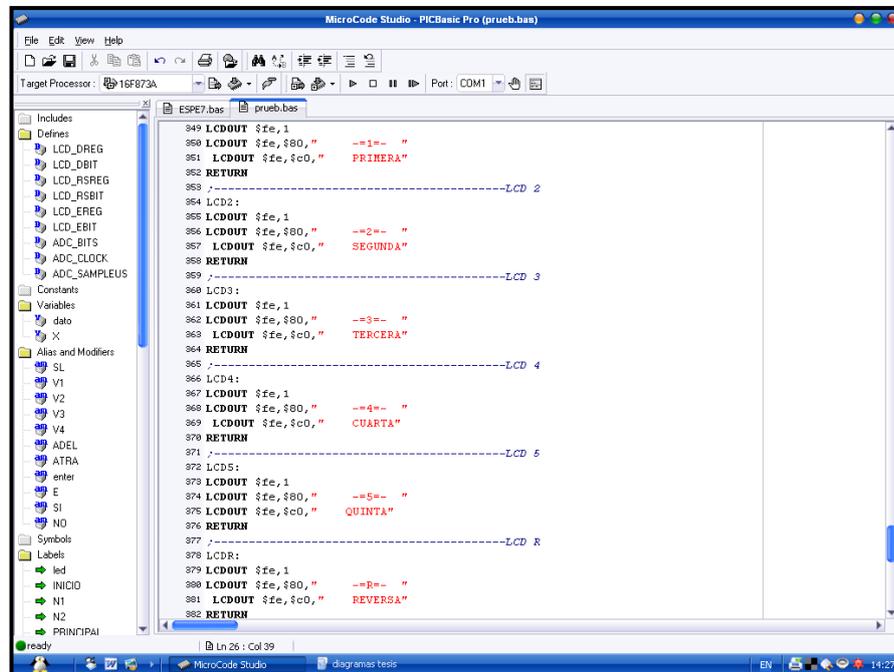


Figura 3.70. Pantalla del software de programación.

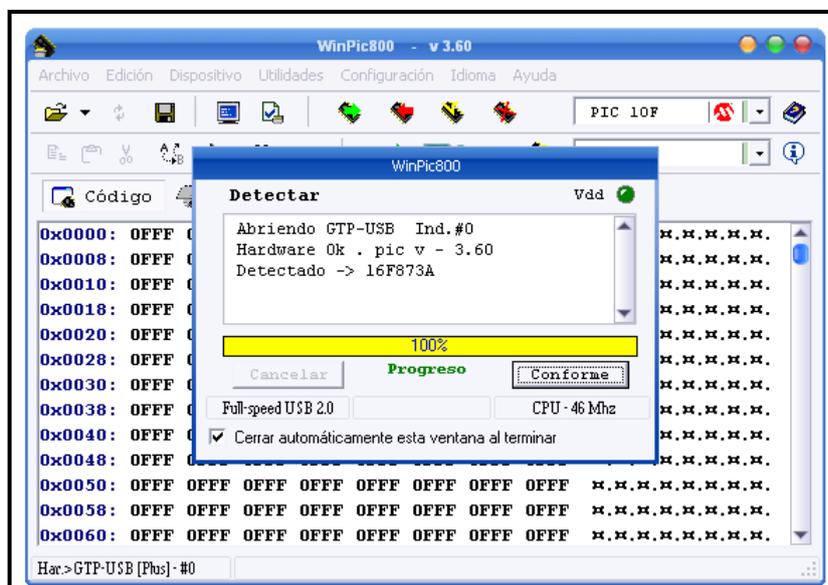


Figura 3.71. Pantalla del Software WinPic 800 (Reconocimiento del PIC).

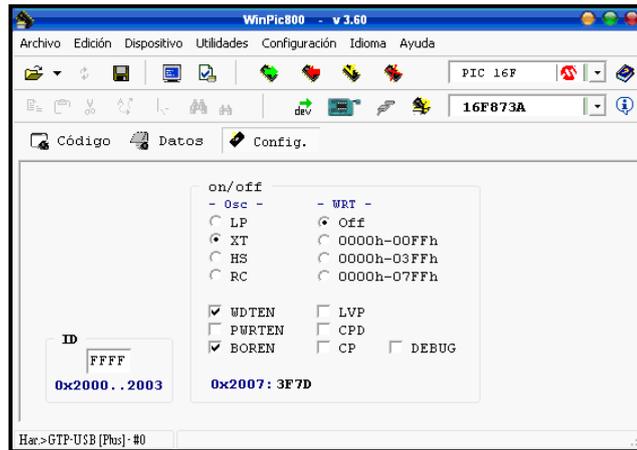


Figura 3.72. Pantalla del Software WinPic 800 (Configuraciones del PIC).

Se empieza haciendo los montajes iniciales de los componentes e incluso usando indicadores luminosos para simular el funcionamiento, a partir de estos ir realizando cada una de las conexiones; considerando los voltajes de operación de los componentes a fin de que los mismos no sufran daños (**figura 3.73.**).

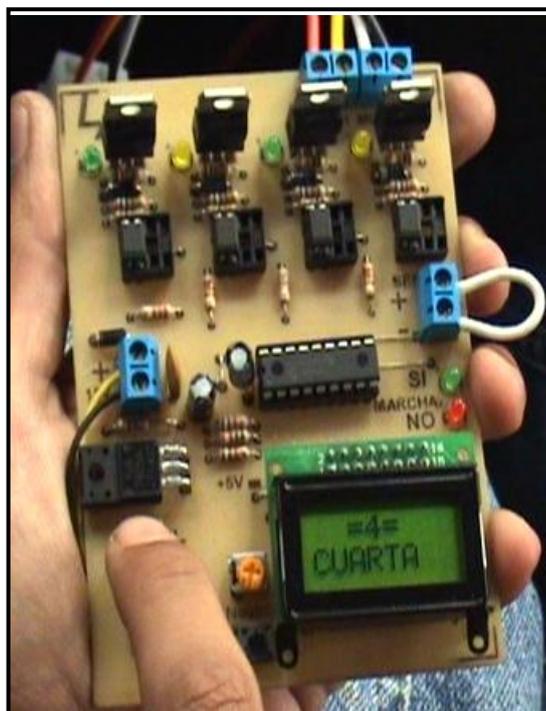


Figura 3.73. Placa de prueba y calibración.

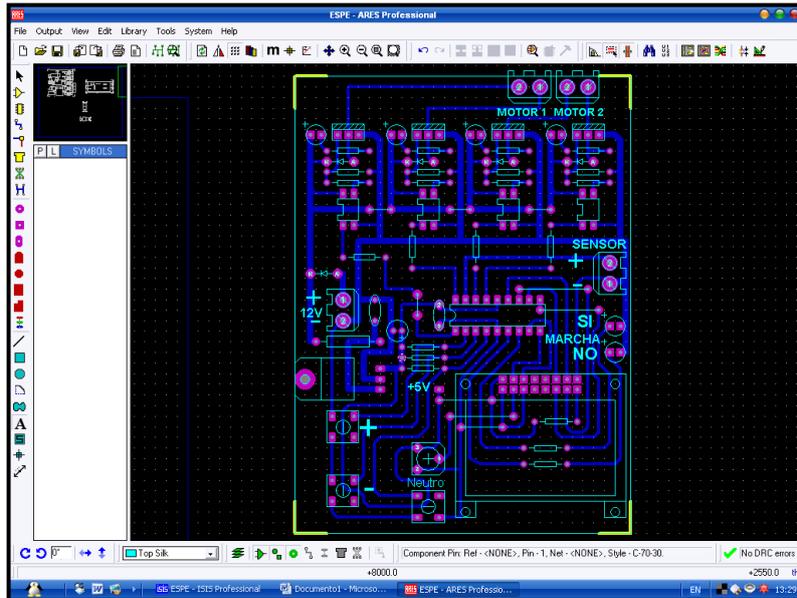


Figura 3.74. Diseño del circuito y serigrafía de la placa de prueba y calibración.

Se conecta la etapa de control de potencia con cada uno de los elementos seleccionados, tomando en cuenta que las corrientes son moderadas en cada uno de los circuitos y considerando que los relés son del tipo SPDT (simple polo doble tiro), es decir de tres contactos cumplirán la función de abrir y cerrar los circuitos.

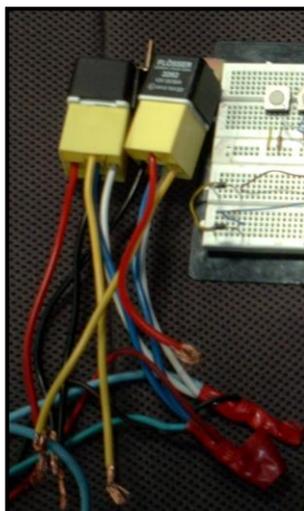


Figura 3.75. Etapa de control de potencia.

3.3.6.1 SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL PIC.

Se verifico mediante simulación en el software **ISIS 7.1** la operación del PIC., las siguientes figuras son las pantallas de simulación de operación del PIC, para cada caso.

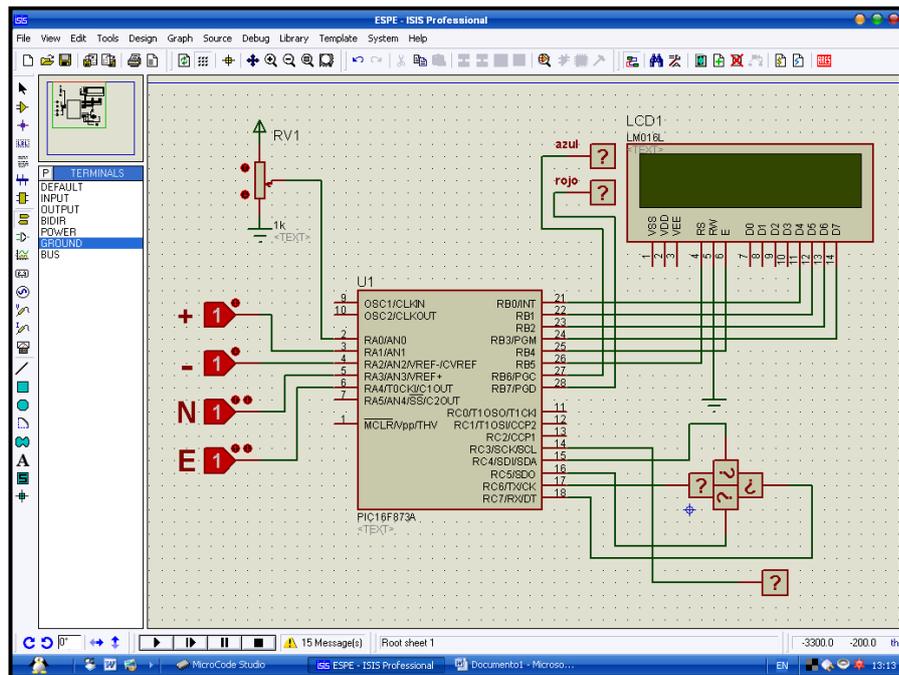


Figura 3.76. Pantalla de simulación en ISIS.

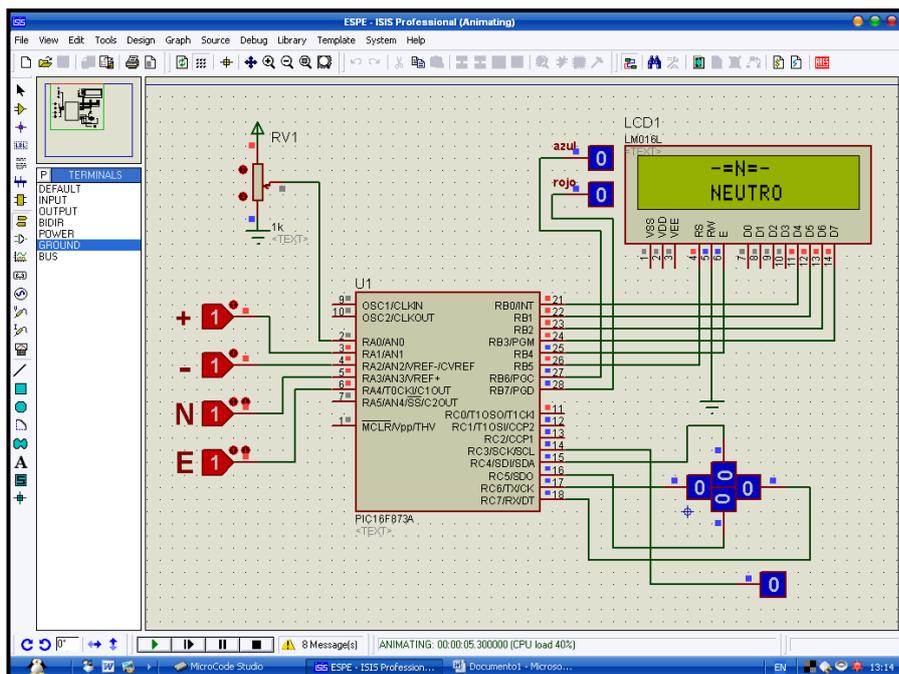


Figura 3.77. Pantalla de simulación en ISIS Posición NEUTRO.

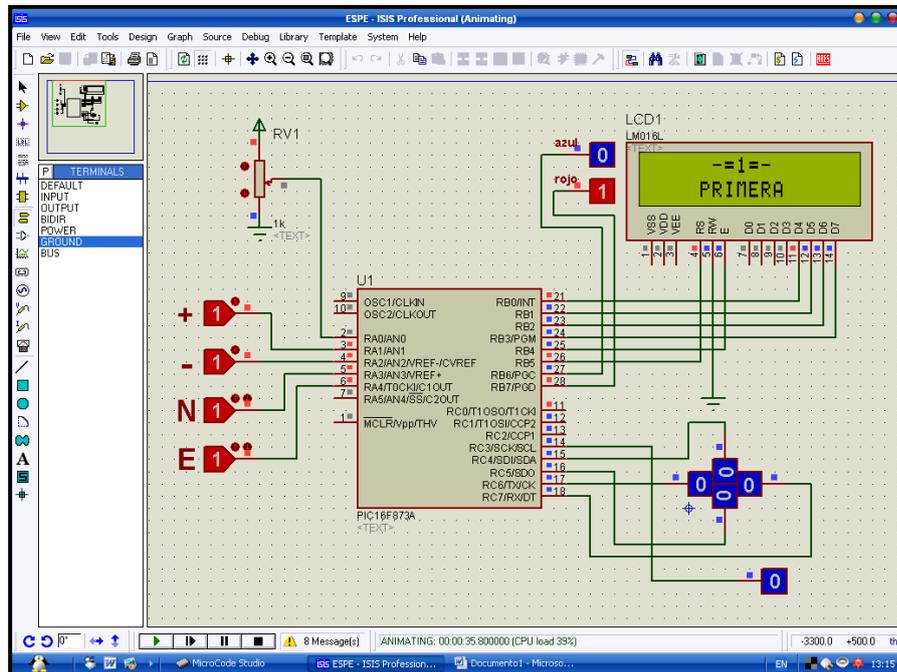


Figura 3.78. Pantalla de simulación en ISIS Posición PRIMERA.

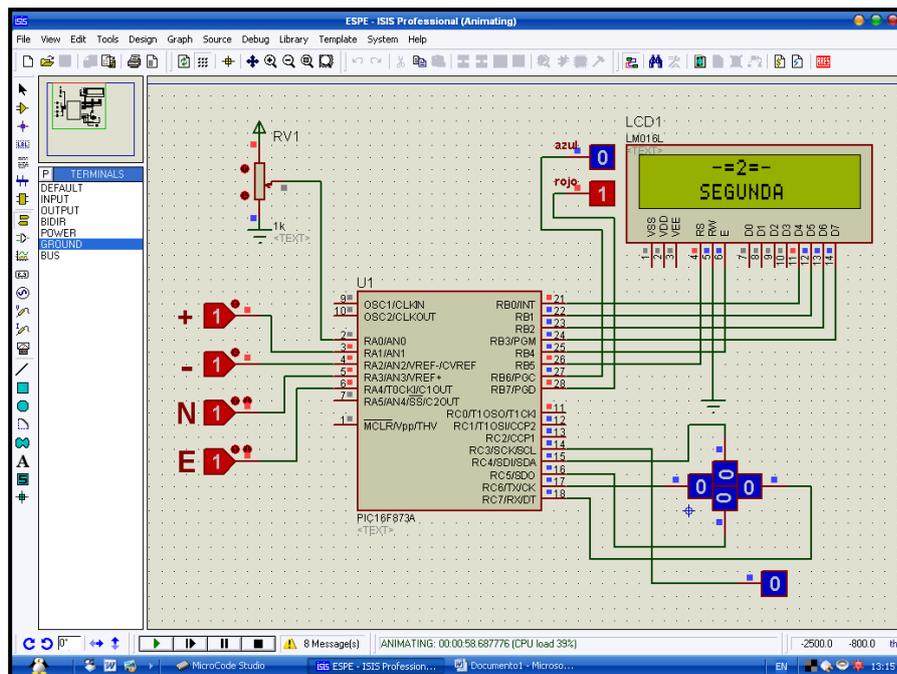


Figura 3.79. Pantalla de simulación en ISIS Posición SEGUNDA.

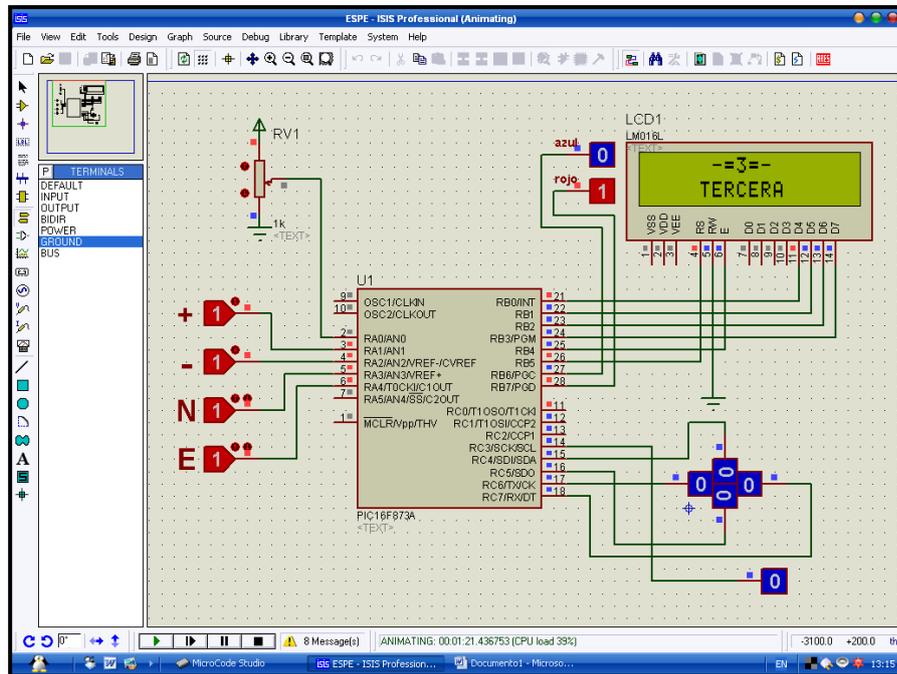


Figura 3.80. Pantalla de simulación en ISIS Posición TERCERA.

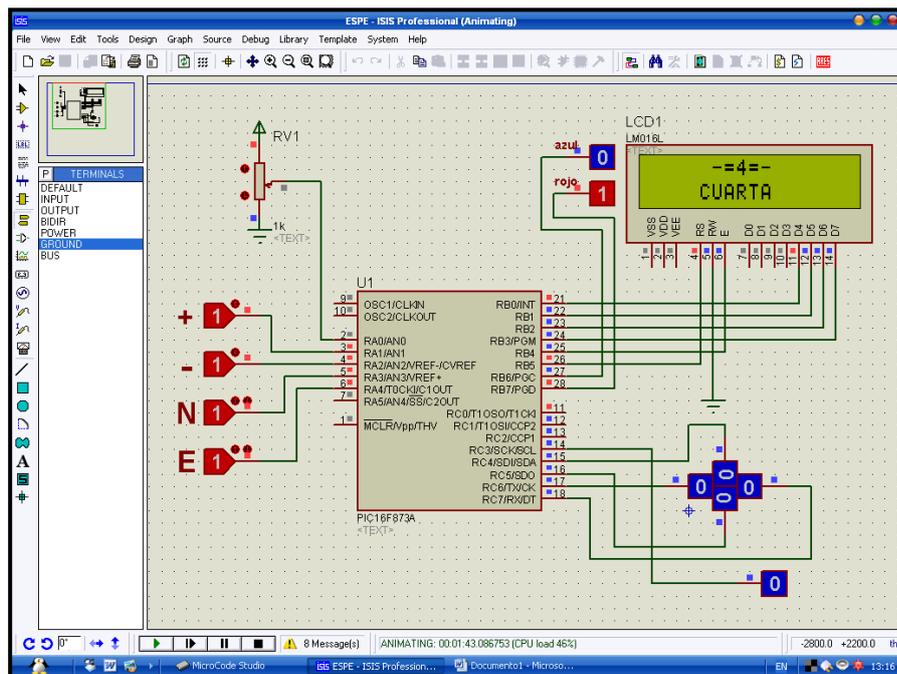


Figura 3.81. Pantalla de simulación en ISIS Posición CUARTA.

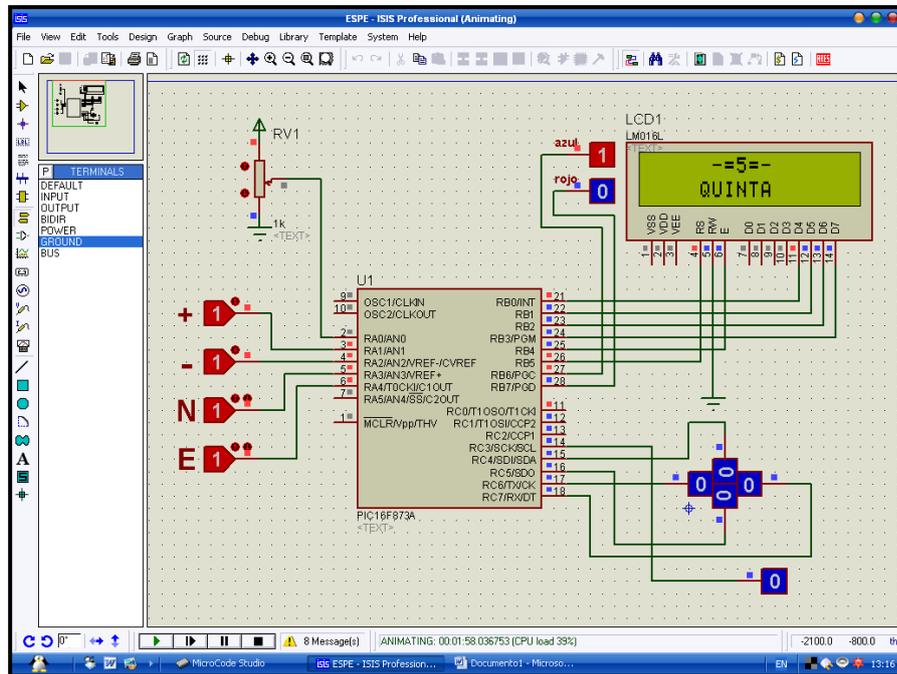


Figura 3.82. Pantalla de simulación en ISIS Posición QUINTA.

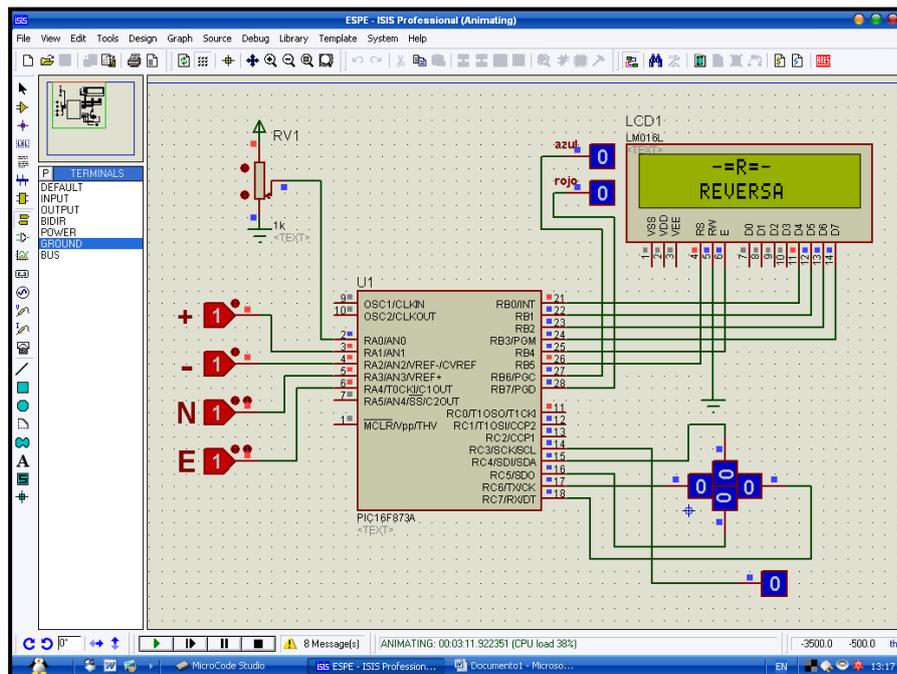


Figura 3.83. Pantalla de simulación en ISIS Posición REVERSA.

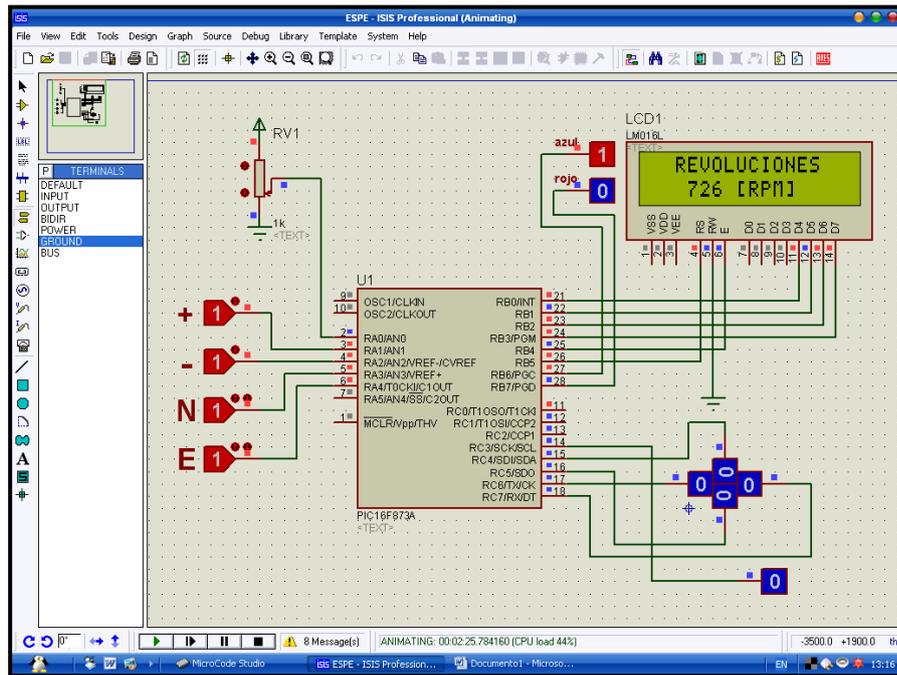


Figura 3.84. Pantalla de simulación en ISIS que muestran las REVOLUCIONES.

3.3.6.2 DISEÑO DE PISTAS Y PLACAS.

Realizada la calibración del circuito electrónico – eléctrico se procede al diseño de las pistas y placas para el circuito final utilizando el programa **ARES 6.9 Profesional** y el método de serigrafía dando como resultado los siguientes caminos, los que una vez revelados deberán ser cuidadosamente revisados.

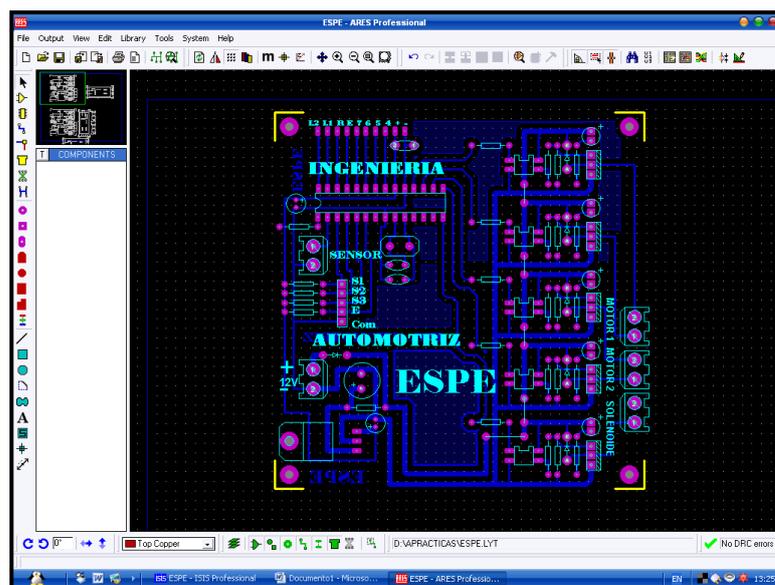


Figura 3.85. Pantalla en ARES CIRCUITO PRINCIPAL.

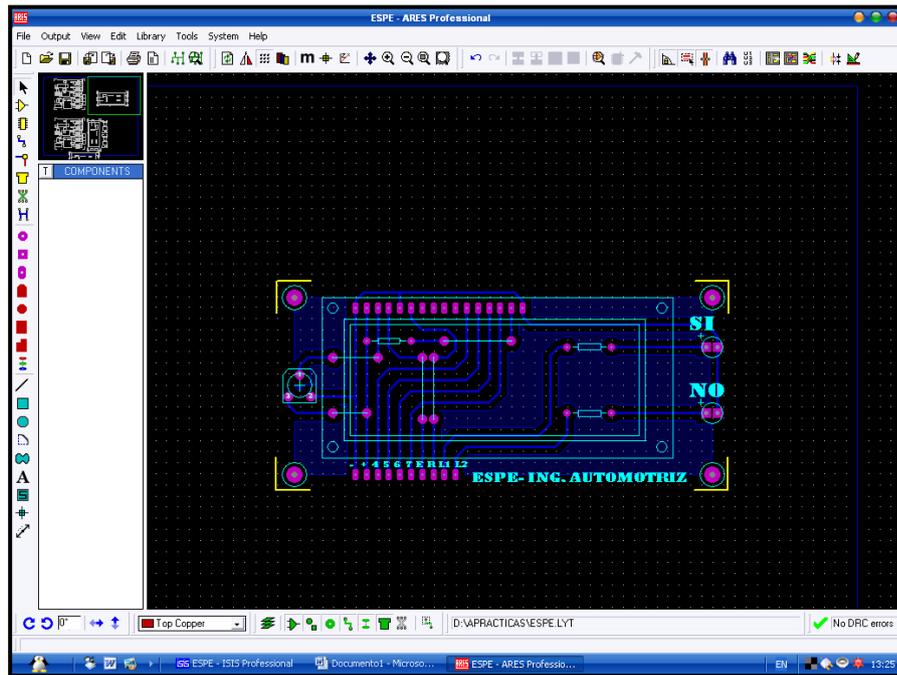


Figura 3.86. Pantalla en ARES circuito para la LCD.

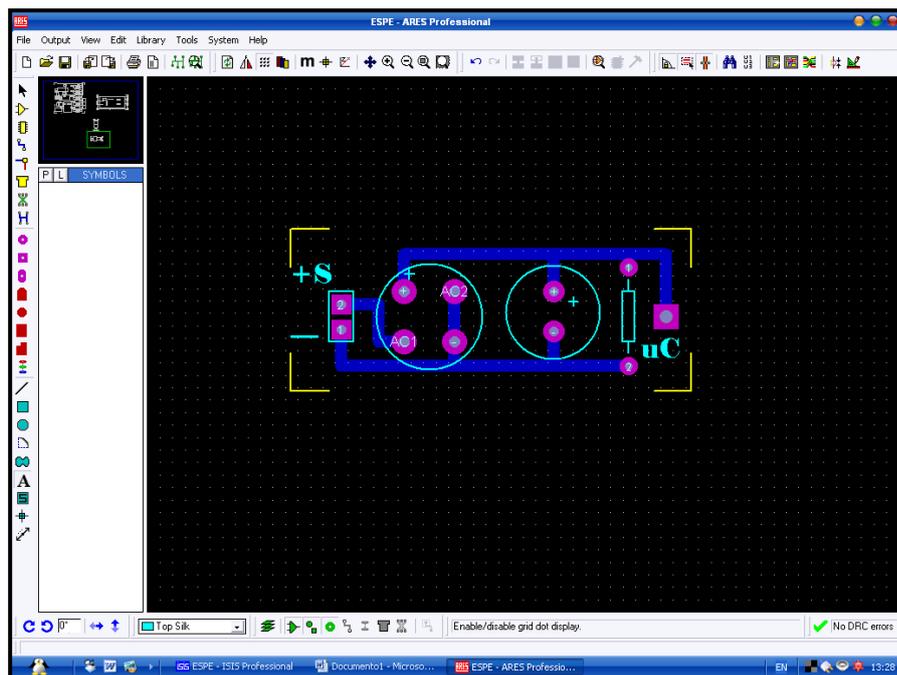


Figura 3.87. Pantalla en ARES circuito de acople de señal del sensor CAS.

Una vez que se tiene todos los elementos electrónicos a utilizar procedemos a la organización de cada uno de estos para lo cual se ha trazado en una placa de baquelita para su posterior impresión.

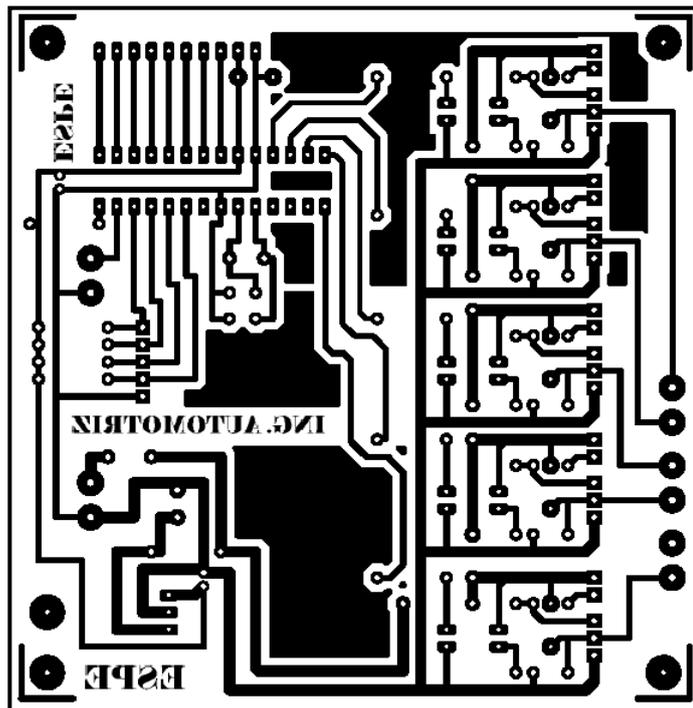


Figura 3.88. Diagrama del circuito impreso placa principal de control.

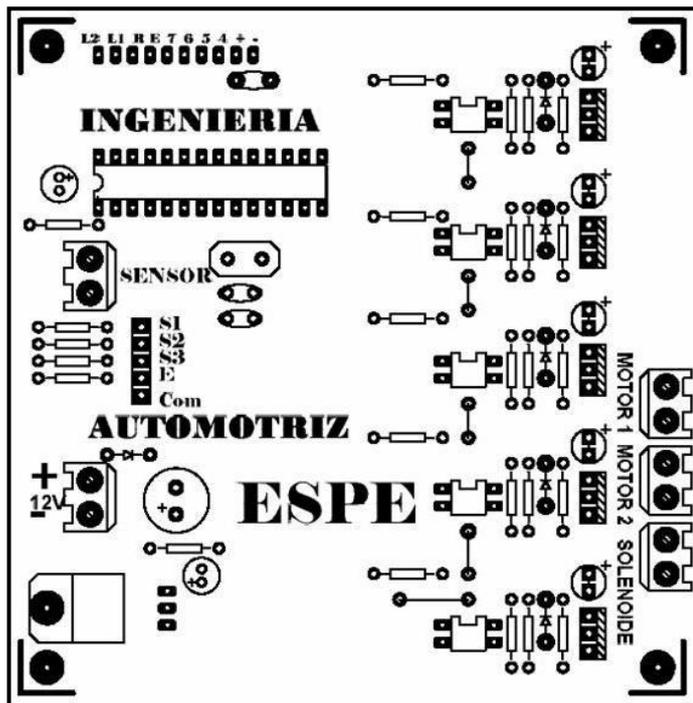


Figura 3.89. Diagrama de serigrafía placa principal de control.

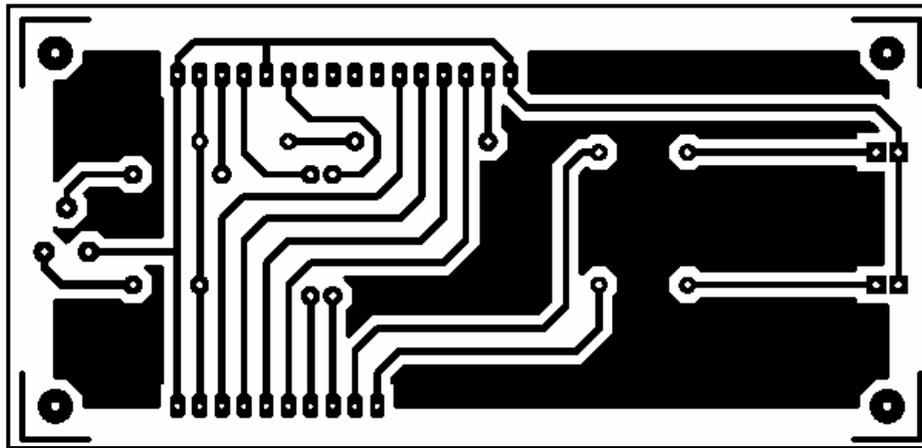


Figura 3.90. Diagrama del circuito impreso placa de la Pantalla LCD.

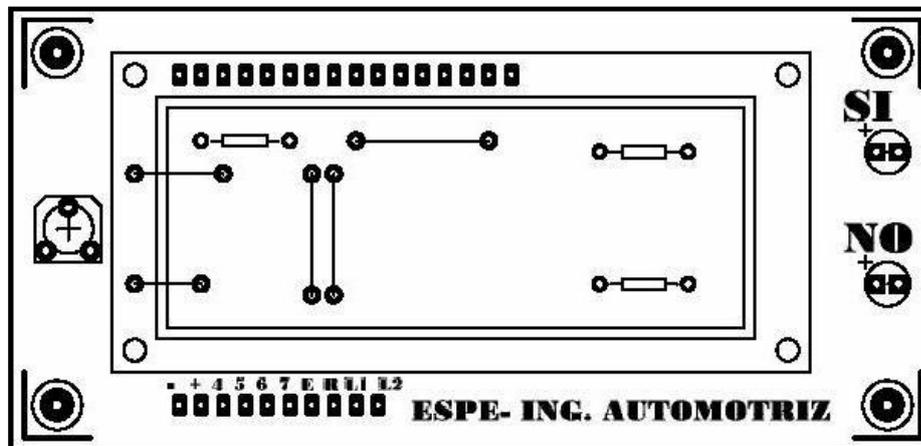


Figura 3.91. Diagrama de serigrafía placa de la Pantalla LCD.

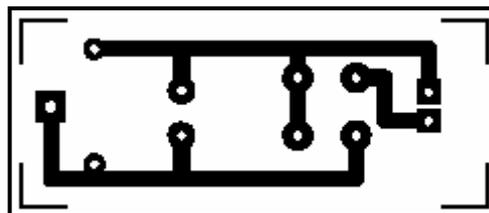


Figura 3.92. Diagrama del circuito impreso placa de acondicionamiento de señal del sensor CAS.

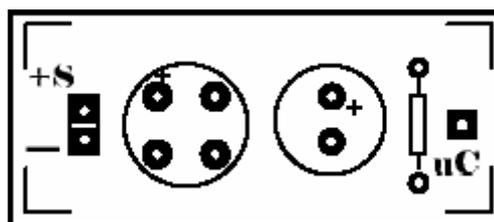


Figura 3.93. Diagrama de serigrafía placa de acondicionamiento de señal del sensor CAS.

3.3.6.3 PLACA DEFINITIVA.

Una vez concluido con la impresión y revelado de las placas se procedió a soldar los elementos teniendo en cuenta la ubicación de cada uno de los elementos.

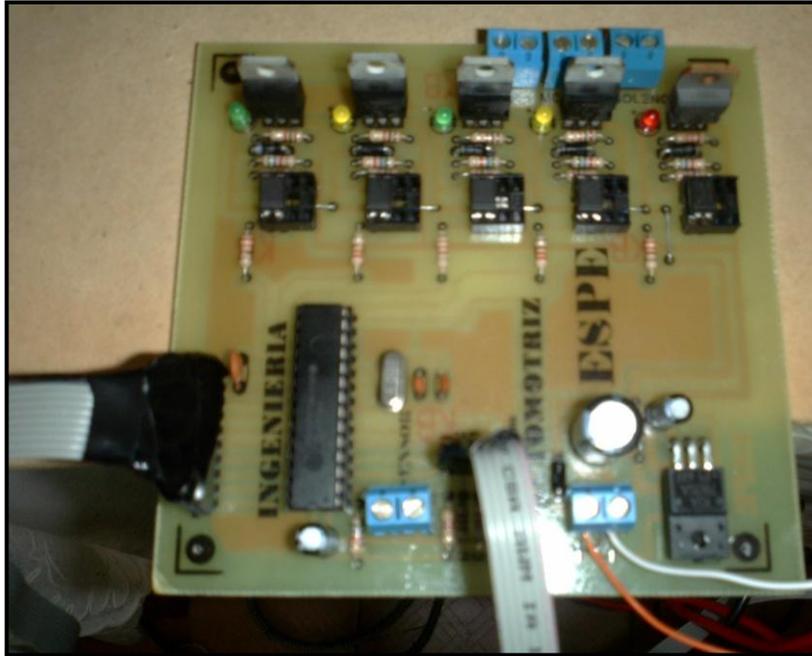


Figura 3.94. Placa definitiva.

IV. INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL MECANISMO DE AUTOMATIZACIÓN DEL CAMBIO DE MARCHAS

Los componentes que permitirán que se automatice el cambio de marchas, en el vehículo marca Chevrolet modelo Corsa Evolution; son tanto eléctricos, electromecánicos como mecánicos. Por lo tanto es fundamental describir el proceso que se llevó a cabo para lograr el correcto funcionamiento del mecanismo que permita lograr el objetivo principal del presente proyecto. Los pasos que a continuación son detallados se los realizo de manera secuencial y cronológica, de lo cual tenemos un procedimiento que es resultado de la toma de la mejor opción para proceder al montaje del mecanismo.

En base a la concepción del diseño realizado en el capítulo anterior, y a la selección de los elementos que fueron considerados para el diseño; el proceso de instalación, adecuación y adaptación del mecanismo es secuencial; así como, las pruebas realizadas en el vehículo buscan satisfacer las condiciones cotidianas de conducción; y hallar problemas o mejoras que se pueden presentar y realizar al diseño original.

4.1 MONTAJE Y ACOPLAMIENTO MECÁNICO.

Como paso previo al montaje del mecanismo que nos permita la automatización del cambio de velocidades, se realizo una inspección visual de diseño original del vehículo marca Chevrolet Modelo Corsa Evolution, en lo referente al montaje de la caja de velocidades, la palanca de cambio de velocidades y los protectores plásticos de la misma, tomando en cuenta factores básicos como espacio, dimensiones de los componentes y funcionamiento de los mismos; se debe mencionar que si bien las diferentes versiones del Modelo Corsa Evolution de la marca Chevrolet son similares tanto en dimensiones como en funcionamiento de la caja de velocidades y palanca de cambio de velocidades, se debe corroborar como se muestra en la

figura 4.1 que no existan diferencias que impedirían el montaje del mecanismo; y por ende, un cambio en el diseño.



Figura 4.1. Inspección del vehículo

A continuación se procedió con el desmontaje de los cobertores plásticos de protección de la palanca de velocidades, para de esta manera tener el espacio suficiente para continuar el desarmado de las siguientes piezas, tales como palanca de velocidades y eje principal (**figura 4.2**).



Figura 4.2. Desmontaje de la carcasa plástica de protección de la Palanca de cambios.

Retirada la palanca de cambio de velocidades, se continúa desmontando el vástago de la palanca principal, tanto de su acoplamiento con el mecanismo de la palanca de cambio de velocidades como del mecanismo de la caja de velocidades como se muestra en **figura 4.3.**, específicamente de la palanca principal del mecanismo de control de cambios de velocidades.

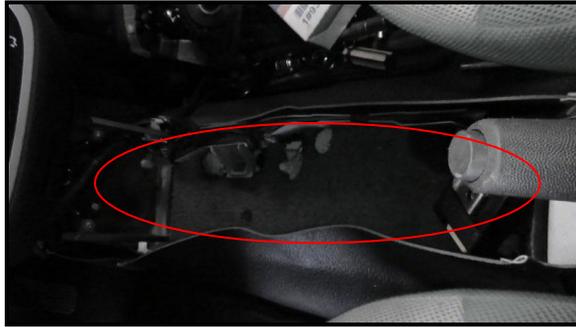


Figura 4.3. Desmontaje del Vástago de la palanca principal.

Una vez que se ha procedido a desmontar, el mecanismo de la palanca de cambios, el varillaje y la carcasa de cubierta, tenemos el área de trabajo lista (**figura 4.4.**) para empezar con el montaje de las piezas como son las bases de los motores y los rieles. Debemos recalcar que para el diseño se consideró la superficie libre que se dispone en el espacio que ocupaba la carcasa protectora.

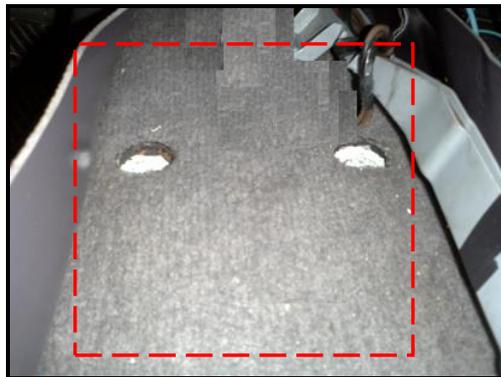


Figura 4.4. Espacio disponible una vez desmontado la palanca, el vástago y la carcasa

Una vez terminado el desmontaje y desarmado de los componentes originales del vehículo, se continúa con el armado de los elementos del diseño que nos permitirán realizar la automatización del cambio de velocidades.

Como primer paso del montaje procedemos a ubicar cada una de las bases para los motores en sus respectivos lugares establecidos en el diseño (**Figura 4.5.**), las bases deben ser colocadas de tal manera que no se presenten vibraciones con el movimiento de los motores.



Figura 4.5. Bases de los motores de acuerdo al diseño establecido.

Una vez las bases colocadas en los sitios determinados en el diseño, se procede al montaje de los motores eléctricos en cada una de ellas, como se puede observar en las **Figuras 4.6 y 4.7.**



Figura 4.6. Motores fijados a las bases.

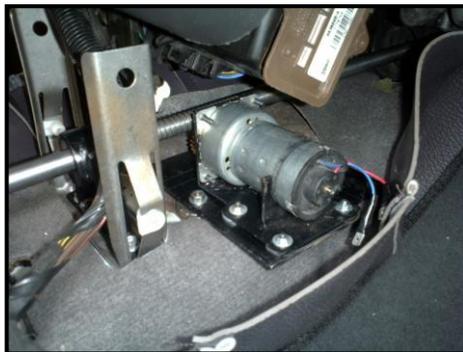


Figura 4.7. Motores fijados a las bases.

Como se estableció en el Capítulo III, fue necesario establecer un mecanismo que nos permita a la vez un tope para la 1era y 2da marcha, y de igual forma nos habilite el posicionamiento de la Marcha en Reversa; el montaje de este

mecanismo así como del soporte intermedio son los pasos finales previo al armado del eje, lo cual se observa en la **Figura 4.8.**



Figura 4.8. Montaje del mecanismo de 1era, 2da y Reversa.

Una vez montado los motores y el mecanismo de control de 1era, 2da y reversa, procedemos a colocar la base que servirá de soporte a la varilla o eje principal (**Figura 4.9.**)



Figura 4.9. Montaje del soporte del eje principal.

Colocados los componentes mecánicos mencionados en los puntos anteriores, procedemos al montaje del eje principal que transmitirá el movimiento de los motores hacia el selector de velocidades de la caja de velocidades como se muestra en la **Figura 4.10.**



Figura 4.10. Montaje de la varilla principal del mecanismo

En el acoplamiento de la varilla principal, a los engranajes del motor de movimiento horizontal, es fundamental que los dientes del engranaje y las guías de la sección de la cremallera circular se acoplen de manera adecuada, como se observa en la **Figura 4.11** para que no se presenten saltos durante el movimiento.

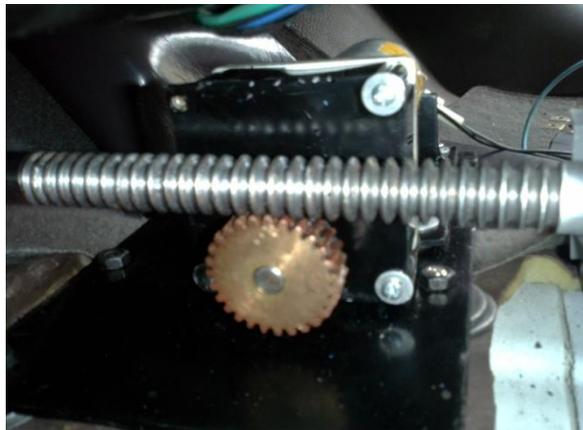


Figura 4.11. Acoplamiento del engranaje del motor y de la varilla principal.

A continuación se procede a asegurar la varilla en el mecanismo de cambio de velocidades de la caja de marchas como se muestra en la **Figura 4.12** y se procede a realizar las instalaciones y conexiones eléctricas y electrónicas.



Figura 4.12. Se asegura la varilla al mecanismo de cambio de marchas

4.2 MONTAJE Y ACOPLAMIENTO ELÉCTRICO.

El montaje eléctrico del mecanismo que permita la automatización del cambio de velocidades está relacionado con el procedimiento que se debe seguir para que las instalaciones, conexiones entre los componentes electromecánicos, y de control y mando no presenten problemas en su funcionamiento.

Como paso inicial del montaje eléctrico se procedió a conectar los motores con sus respectivos cables (**Figura 4.13**) tomando en cuenta el diagrama eléctrico establecido en el diseño.



Figura 4.13. Conexión eléctrica de los motores.

Una vez realizadas las instalaciones eléctricas a los dos motores y al solenoide, conectamos los relés de control (**Figura 4.14.**) y la placa de control, finalmente ubicamos la misma al interior del vehículo (**Figura 4.15.**)



Figura 4.14. Conexión eléctrica de los motores a sus relés.

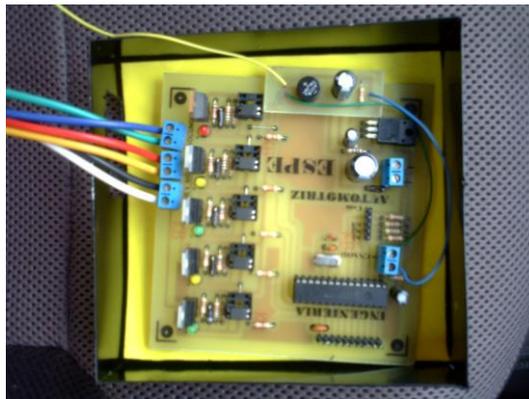


Figura 4.15. Conexión y ubicación de la placa de control al interior del vehículo.

En este punto es necesario detallar cual fue el procedimiento que se siguió para la construcción de la placa de control. En primer lugar se procede a diseñar la placa en una lámina de acetato como se muestra en la **Figura 4.16.**, considerando el espacio disponible en el vehículo.

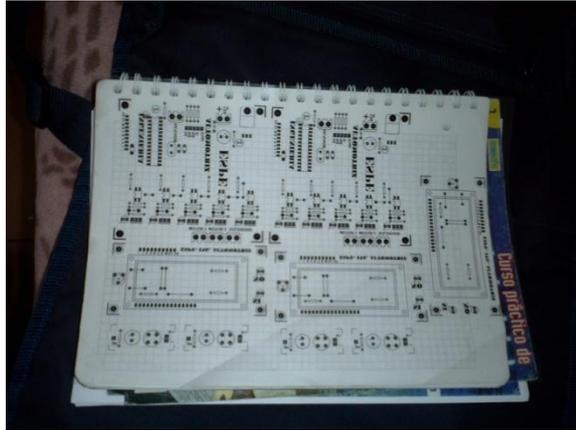


Figura 4.16. Diseño de la placa en lámina de acetato.

Las Figuras 4.17 y 4.18, muestran como se corto la lámina de baquelita conforme al diseño realizado y posteriormente se plasmó el mismo, sobre la placa.



Figura 4.17. Corte de la placa de metal.



Figura 4.18. Dibujo del diseño en la placa de metal.

Procedemos a introducir la placa de baquelita en un recipiente con ácido, con el dibujo del diseño sobre su superficie (**Figura 4.19.**), considerando que no se debe dejar por mucho tiempo ya que se puede borrar el diagrama.

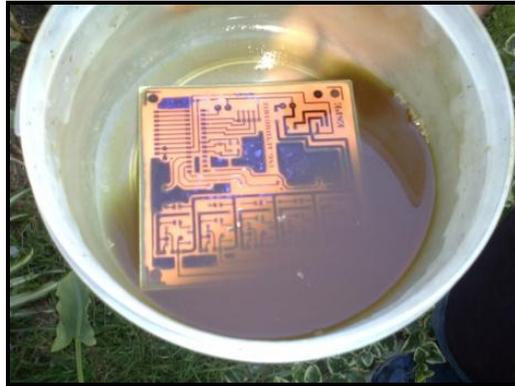


Figura 4.19. Aplicación de ácido a la placa de metal.

Una vez retirada la placa del ácido se procede con la limpieza de la misma y ha realizar los orificios de acuerdo al diseño eléctrico, este procedimiento lo podemos observar en la **Figura 4.20.**



4.20. Limpieza y perforación de la placa metálica.

Continuamos con la suelda de los diferentes componentes electrónicos de acuerdo al diseño establecido (**Figura 4.21.**), considerando la posición de los elementos apoyados en el manual NTE.



Figura 4.21. Suelda de los componentes electrónicos.

Después, desmontamos el volante del vehículo para posicionar los diferentes componentes que permitan realizar el cambio de velocidades desde esta posición.



Figura 4.22. Desmontaje de volante del vehículo.

Se colocan los pulsadores en el volante del vehículo buscando la posición que permita una mejor conducción (**Figura 4.23**)



Figura 4.23. Ubicación de los pulsadores en el volante.

En el montaje del volante con los pulsadores; se debe tener cuidado al momento de ajustar el mismo para que este no presente problemas al conducir (**Figura 4.24.**)



Figura 4.24. Ubicación del volante con los pulsadores.

Luego procedemos a la instalación de un pulsador en el pedal del embrague, enviando una señal que será procesada por el microcontrolador (**Figura 4.25.**)



Figura 4.25. Ubicación del pulsador en el pedal del embrague.

Ubicamos el pulsador de neutro a un costado donde se encontraba la palanca de cambio de velocidades (**Figura 4.26.**), el mismo que debe tener un posicionamiento que facilite su activación.



Figura 4.26. Ubicación del pulsador de neutro.

Procedemos a colocar la carcasa de fibra de vidrio donde se encuentra la pantalla LCD así como los leds indicadores, sobre el tablero de instrumento como se muestra en la **Figura 4.27.**



Figura 4.27. Colación de la pantalla LDC con su respectiva carcasa.

4.3 ADAPTACIONES MECÁNICAS.

En cuanto a las adaptaciones mecánicas que se realizaron dentro del montaje del mecanismo, debemos indicar que el ajuste mecánico realizado al diseño original es la ubicación de un nuevo mecanismo tanto mecánico como electromecánico que nos permita tener un control entre el cambio de 1ra y 2da velocidad; y reversa.

Esta adaptación consintió en la ubicación de un mecanismo que ejerza un control al momento de cambiar a la velocidad de retro (**Figura 4.28.** y **4.29.**), sin que se presente un atascamiento en los engranajes y por ende la presencia de falla en el funcionamiento del mecanismo.



Figura 4.28. Mecanismo de control para el cambio a la velocidad de Reversa.



Figura 4.29. Mecanismo de control para el cambio a la velocidad de Retro, ensamblado al interior del vehículo.

4.4 ADAPTACIONES ELÉCTRICAS.

La principal adaptación eléctrica está relacionada, con los dispositivos de control que permiten al microcontrolador ejercer el mando sobre los componentes electromecánicos de manera acertada.

Estas adaptaciones consisten en dispositivos tales como la ubicación de un pulsador en el pedal del embrague (**Figura 4.30.**), un pulsador para colocar en neutro, y la ubicación de los pulsadores para el cambio de marchas mediante un cableado que circula por el volante hasta llegar a la placa de control.



Figura 4.30.Ubicación de un pulsador en el pedal del embrague.

4.5 PRUEBAS A BORDO DEL VEHÍCULO DEL MECANISMO DE AUTOMATIZACIÓN DEL CAMBIO DE VELOCIDADES.

Para realizar una evaluación de los resultados de la conducción del vehículo marca Chevrolet modelo Corsa Evolution, utilizando el mecanismo de automatización de cambio de velocidades, fue necesario evaluar el funcionamiento total del mecanismo, es decir el funcionamiento adecuado del control del mecanismo y de su programación; el correcto funcionamiento de los componentes electromecánicos; funcionamiento adecuado de la pantalla indicadora LCD; y la ergonomía mejorada al realizar la conducción utilizando el diseño planteado en el presente proyecto.

4.5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO AL CONDUCIR.

Una vez instalado el mecanismo diseñado a lo largo de este proyecto, se realizaron pruebas de ruta en varias circunstancias y condiciones, con el fin de determinar si se presentaba problemas o dificultades al conducir el vehículo.

En cuanto al mejoramiento de la ergonomía en la conducción del vehículo se obtuvo los siguientes resultados, los que están basados en pruebas de ruta realizadas por conductores que no intervinieron en el proceso de diseño y construcción del mecanismo.

CONDICIONES DE CONDUCCIÓN	RESULTADO
MANIOBRALIDAD EN EL CAMBIO DE VELOCIDADES	MEJORADO
MANIOBRALIDAD EN LA CONDUCCIÓN AL REALIZAR EL CAMBIO DE VELOCIDADES	MEJORADO
CAMBIO DE VELOCIDADES DE ACUERDO AL REQUERIMIENTO DEL CONDUCTOR	MEJORADO
FACILIDADES EN EL CAMBIO DE VELOCIDADES EN EL PARQUEO DEL VEHÍCULO (CAMBIO DE 1ERA A RETRO EN CORTOS ESPACIOS DE TIEMPO)	MEJORADO
CONDUCCIÓN DEL VEHÍCULO EN ZONAS URBANAS CON ALTA CIRCULACIÓN VEHICULAR	MEJORADO
CONDUCCIÓN DEL VEHÍCULO EN ZONAS URBANAS CON BAJA CIRCULACIÓN VEHICULAR	MEJORADO
CONDUCCIÓN DEL VEHÍCULO EN PISTAS DE ALTA VELOCIDAD	MEJORADO.

Estos resultados son en base a una comparación con el sistema tradicional de cambio de velocidades y el nuevo mecanismo de automatización de cambio de velocidades; se debe mencionar que previo a las pruebas de conducción realizadas por personas ajenas a este proyecto, se realizaron varias pruebas de ruta por parte de quienes intervenimos en el diseño y construcción del presente proyecto.

De los resultados y de las pruebas realizadas se puede determinar lo siguiente:

1. El tiempo de accionamiento necesario para realizar el cambio de velocidades se disminuyo por ende la conducción del vehículo mejoro.
2. Se mejora la conducción del vehículo al no ser necesario que se suelte el volante para realizar el cambio de velocidades.
3. Al momento de parquear el vehículo, se facilita esta acción ya que el conductor no debe soltar el volante para realizar los cambios de marcha de 1era a retro.

4.5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO DE CONTROL Y DE SU PROGRAMACIÓN.

En cuanto al funcionamiento de mecanismo electrónico de control y de su programación, es necesario recalcar que antes de la instalación de este dispositivo se realizaron varias simulaciones en el computador; así como, una vez instalado se probó el mecanismo con el vehículo colocado en un elevador para determinar si se presentaban ruidos extraños o cambios bruscos al realizar los cambios de marchas, de igual manera se comprobó que los tiempos determinados en la programación son los adecuados.

De igual manera se consultó a los mismos conductores sobre los siguientes puntos.

TIEMPO EMPLEADO EN EL CAMBIO DE VELOCIDADES	ADECUADO
TIEMPO EN EL CAMBIO DE MARCHAS A NEUTRO	ADECUADO
TIEMPO EN EL CAMBIO A LA VELOCIDAD DE RETRO	ADECUADO
FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA INDICADORA LCD AL MOMENTO DE REALIZAR EL CAMBIO DE MARCHAS	CORRECTO
SEGURIDADES AL MOMENTO DE REALIZAR UN CAMBIO INADECUADO DE VELOCIDAD	CORRECTO
CONTROL DE REVOLUCIONES PARA EL CAMBIO DE VELOCIDADES	CORRECTO

Al realizar las primeras pruebas de rutas se presentaron ciertos inconvenientes relacionados con los tiempos de cambios de velocidades los mismos que se fueron corrigiendo hasta lograr que los tiempos requeridos para el cambio de velocidades sean los más óptimos. Dentro de las pruebas realizadas a la programación tenemos la evaluación realizada al funcionamiento de los motores eléctricos, observado si estos se traban o no actúan de acuerdo a la programación realizada.

De igual forma los procesos de control dentro de la programación que impiden que se realicen cambios de velocidades inadecuados, así como cambios a la velocidad de retro de manera inadecuada funcionan de manera efectiva.

4.5.3 PRUEBAS EN LOS MANDOS DE CONTROL PARA REALIZAR LA SELECCIÓN DE VELOCIDADES Y DEL NEUTRO.

El funcionamiento de las mandos que permiten realizar la selección marchas, luego de las pruebas de ruta no presentaron problemas o inconvenientes en su funcionamiento, lo cual a mas de favorecer a la conducción mejora notablemente la ergonomía entre el piloto y el vehículo.

4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Luego de las diferentes pruebas realizadas en el vehículo, para comprobar el funcionamiento del mecanismo que permite la automatización del cambio de velocidades, y de los resultados podemos resumirlos en los siguientes puntos:

- La ergonomía se mejoro notablemente al momento de conducir, ya que el piloto no debe soltar el volante para realizar un cambio de velocidades; por ende la seguridad al conducir aumenta.
- Al ser el tiempo necesario para realizar un cambio de velocidades menor que el requerido en el sistema convencional de cambio de marchas, la conducción se vuelve mucho mas confortable.
- Al accionar los dispositivos de cambio de velocidades, desde el volante el piloto puede realizar maniobras en menor tiempo.
- Durante el parqueo del vehículo se mejora la conducción ya que el piloto no debe soltar el volante para realizar el cambio de primera a retro.

CONCLUSIONES:

- La automatización del cambio de velocidades en el vehículo Chevrolet modelo Corsa Evolution, utilizando elementos electromecánicos para la automatización del movimiento necesario para la selección de marchas controlados por un microcontrolador, es una aplicación práctica de los conocimientos recibidos a lo largo de la carrera de Ingeniería Automotriz, pues en el presente proyecto se han conjugado aplicaciones eléctricas, electrónicas y mecánicas para lograr un diseño y posterior materialización de un mecanismo eficaz y efectivo.
- La automatización del Cambio de velocidades, ha mejorado notablemente la conducción del vehículo, permitiendo que el piloto tenga el control sobre la selección de marchas sin tener que soltar el volante, mejorando así la ergonomía al conducir.
- La selección de los componentes electromecánicos: motores eléctricos; como elementos principales en la automatización, fue la mas acertada al demostrar durante las pruebas realizadas que sus prestaciones son las apropiadas para generar el torque necesario en un espacio reducido; y que responden de manera correcta al control que ejerce el microcontrolador sobre el mecanismo.
- Los dispositivos de control dentro de la programación, que sirven de respaldo para el funcionamiento del mecanismo de automatización, momento de ser requeridos han trabajado de manera correcta impidiendo que se produzcan daños en el sistema de selección de marchas y por ende en la seguridad de los ocupantes del vehículo.
- La ubicación de los pulsadores para realizar la selección del cambio de marchas en el volante es ergonómicamente apropiada, a mas dar una apariencia estética agradable lo cual es un factor fundamental en el campo

automotriz; de igual forma el indicador LCD permite al piloto tener conocimiento de la marcha en la cual se encuentra.

RECOMENDACIONES:

- Que al interior de la Facultad de Ingeniería Automotriz, se implemente este dispositivo de automatización de cambio de velocidades en uno de los vehículos de la Carrera, para que los estudiantes mejoren el diseño.
- Que se plantee el mejoramiento del dispositivo para la selección de marchas, como un nuevo proyecto; en el cual se puede utilizar comunicación inalámbrica o mediante dispositivos con una interfase BLUETOOTH.
- Que se promocióne el presente proyecto por parte de la Carrera de Ingeniería Automotriz, en las diferentes ferias en las que participa, buscando el aporte necesario para la implementación del mismo en vehículos utilizados por personas con discapacidad.

BIBLIOGRAFÍA:

- DE CASTRO Miguel, 4 x 4 MANUAL DEL MECÁNICO, Ediciones CEAC 1992 1ª Edición.
- FRONT MEZQUITA, José; DOLS RUIZ, Juan F., TRATADO SOBRE AUTOMÓVILES, ALFAOMEGA 2001.
- MANUAL CEAC DEL AUTOMÓVIL, Ediciones CEAC 2003
- TOYOTA MOTOR CORPORATION, EMBRAGUE, TRANSEJE Y TRANSMISIÓN MANUAL, volumen 7, etapa 2, 1990.
- GTZ, TECNOLOGÍA DEL AUTOMÓVIL, Ediciones Reverté 1985 20ª edición.
- CHEVROLET, Manual Complementario de Servicio. Corsa Evolution, 2002.
- MOTT Robert, DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, 2da edición 1992

URL:

- [http://nte01.nteinc.com/nte%5CNTExRefSemiProd.nsf/\\$\\$Search?OpenForm](http://nte01.nteinc.com/nte%5CNTExRefSemiProd.nsf/$$Search?OpenForm)
- www.x-robotics.com

ANEXOS

ANEXO A

**INSTRUCCIONES DE PROGRAMACIÓN
PIC16F873A**

```

'*****
'
'          CONFIGURACIÓN DEL LCD
'*****
DEFINE LCD_DREG PORTB          ; bit de datos del LCD empezando
DEFINE LCD_DBIT 0              ; por B.0 ,B.1, B.2 y B.3
DEFINE LCD_RSREG PORTB        ; bit de registro del LCD conectar
DEFINE LCD_RSBIT 5            ; en el puerto B.5
DEFINE LCD_EREG PORTB         ; bit de Enable conectar en el
DEFINE LCD_EBIT 4             ; puerto B.4
;-----
DEFINE ADC_BITS 10            ; Set number of bits in result
DEFINE ADC_CLOCK 3            ; Set clock source (3=rc)
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50       ; Set sampling time in uS

'*****
'          CONFIGURACIÓN DE LOS PUERTOS
'*****
TRISA=%111111                ; Configura al puerto A como entradas
        ADCON1 = %10001110    ; A.0 análogo a 10 bits LOS DEMÁS
                                ; PINES del puerto a DIGITALES

TRISB=%00000000              ; Configura al puerto B como salidas
TRISC=%00000000              ; Configura al puerto C como salidas

'*****
'          DECLARACIÓN DE VARIABLES
'*****
SL      VAR   PORTC.3          ; Control del SOLENOIDE
V1      VAR   PORTC.4          ; Control del MOTOR No. 2 hacia Adelante
V2      VAR   PORTC.5          ; Control del MOTOR No. 2 hacia Atrás
V3      VAR   PORTC.6          ; Control del MOTOR No. 1 hacia Derecha
V4      VAR   PORTC.7          ; Control del MOTOR No. 1 hacia Izquierda
ADEL    VAR   PORTA.1          ; Pulsador del volante (+)
ATRA    VAR   PORTA.2          ; Pulsador del volante (-)
enter   VAR   PORTA.3          ; Pulsador de NEUTRO (N)
E       VAR   PORTA.4          ; Pulsador del EMBRAGUE (E)
SI      VAR   PORTB.7          ; Control del LED AZUL
NO      VAR   PORTB.6          ; Control del LED ROJO
dato    VAR   WORD             ; Variable tipo palabra
X       VAR   BYTE             ; Variable tipo byte

'*****
'          ENCENDIDO
'*****
LOW V1
LOW V2
LOW V3
LOW V4
LOW SL
led:
LCDOUT $fe, 1                ; Limpia la pantalla del LCD
LCDOUT $fe,$80,"      ==ESPE==  " ; Al comienzo de la 1ra. línea
LCDOUT $fe,$c0,"      ING. AUTOMOTRIZ" ; Al comienzo de la 2da. línea
FOR X = 0 TO 3              ; Repite 4 veces el siguiente lazo
HIGH SI
HIGH NO
PAUSE 200
LOW SI
LOW NO
PAUSE 200
NEXT X

```

```

'=====APAGADO DE LOS MOTORES
INICIO:
LOW V1
LOW V2
LOW V3
LOW V4

'*****
'
'          PROGRAMA PRINCIPAL
'*****

'*****
'
'          NEUTRO
'*****
N1:
GOSUB NEUTRO1      ; Llama a la subrutina para el neutro de I, III y V
GOTO PRINCIPAL

N2:
GOSUB NEUTRO2      ; Llama a la subrutina para el neutro de II y IV

PRINCIPAL:
GOSUB LCDN
;-----
MN:
IF ADEL = 0 THEN MN      ;REBOTE SALIDA DEL TACÓMETRO
PAUSE 500
;-----
INI:
LOW SI
LOW NO
GOSUB LEER
IF enter = 0      AND ADEL = 0      THEN PROG      ; Hacia TACOMETRO
IF ADEL = 0      AND E = 1      THEN PRIMERA      ; Hacia PRIMERA
IF ATRA = 0      AND E = 1      THEN RETRO      ; Hacia REVERSA
GOTO INI

'*****
'
'          PRIMERA
'*****
PRIMERA:
GOSUB LCD1
GOSUB NEU_PRI
'.....ANTIREBOTE DE PULSADORES
M1:
IF ADEL = 0 THEN M1
IF ATRA = 0 THEN M1
PAUSE 500
'.....
'-----CONDICIONAMIENTO DE LAS RPM
A2:
GOSUB LEER
IF dato > 3500 THEN
HIGH SI
LOW NO
ELSE
LOW SI

```

```

HIGH NO
ENDIF
'-----
IF ADEL = 0          AND E = 1          THEN SEGUNDA      ; Hacia SEGUNDA
IF enter = 0        AND E = 1          THEN N1           ; Hacia PRIMERA
GOTO A2

'*****
'
'                               SEGUNDA
'*****
SEGUNDA:
GOSUB LCD2
GOSUB NEUTRO1
GOSUB NEU_SEG
'.....ANTIREBOTE DE PULSADORES
M2:
IF ADEL = 0 THEN M2
IF ATRA = 0 THEN M2
PAUSE 500
'.....
'-----CONDICIONAMIENTO DE LAS RPM
A3:
GOSUB LEER
IF dato > 3500 THEN
HIGH SI
LOW NO
ELSE
LOW SI
HIGH NO
ENDIF
'-----
IF ADEL = 0          AND E = 1          THEN TERCERA      ; Hacia TERCERA
IF enter = 0        AND E = 1          THEN N2           ; Hacia NEUTRO
IF ATRA = 0        AND E = 1          THEN SEG_PRI       ; Hacia PRIMERA
GOTO A3

'*****
'
'                               TERCERA
'*****
TERCERA:
GOSUB LCD3
GOSUB NEUTRO2
GOSUB NEU_TER
'.....ANTIREBOTE DE PULSADORES
M3:
IF ADEL = 0 THEN M3
IF ATRA = 0 THEN M3
PAUSE 500
'.....
'-----CONDICIONAMIENTO DE LAS RPM
A4:
GOSUB LEER
IF dato > 3500 THEN
HIGH SI
LOW NO
ELSE
LOW SI
HIGH NO
ENDIF
'-----

```

```

IF ADEL = 0      AND E = 1      THEN CUARTA      ;HACIA CUARTA
IF enter = 0    AND E = 1      THEN N1          ;HACIA NEUTRO
IF ATRA = 0     AND E = 1      THEN TER_SEG     ;HACIA SEGUNDA
GOTO A4

```

```

'*****
'
'                                CUARTA
'*****

```

```

CUARTA:
GOSUB LCD4
GOSUB NEUTRO1
GOSUB NEU_CUA
'.....ANTIREBOTE DE PULSADORES

```

```

M4:
IF ADEL = 0 THEN M4
IF ATRA = 0 THEN M4
PAUSE 500

```

```

'.....
'-----CONDICIONAMIENTO DE LAS RPM

```

```

A5:
GOSUB LEER
IF dato > 3500 THEN
HIGH SI
LOW NO
ELSE
LOW SI
HIGH NO
ENDIF

```

```

'-----
IF ADEL = 0      AND E = 1      THEN QUINTA      ;HACIA QUINTA
IF enter = 0    AND E = 1      THEN N2          ;HACIA NEUTRO
IF ATRA = 0     AND E = 1      THEN CUA_TER     ;HACIA TERCERA
GOTO A5

```

```

'*****
'
'                                QUINTA
'*****

```

```

QUINTA:
GOSUB LCD5
GOSUB NEUTRO2
GOSUB NEU_QUI
'.....ANTIREBOTE DE PULSADORES

```

```

M5:
IF ADEL = 0 THEN M5
IF ATRA = 0 THEN M5
PAUSE 500

```

```

'.....
'-----CONDICIONAMIENTO DE LAS RPM

```

```

AN:
GOSUB LEER
IF dato > 5500 THEN
HIGH SI
LOW NO
ELSE
LOW SI
HIGH NO
ENDIF

```

```

'-----
IF enter = 0    AND E = 1      THEN N1          ;HACIA QUINTA
IF ATRA = 0     AND E = 1      THEN QUI_CUA     ;HACIA NEUTRO

```


GOTO M4

```
'*****  
'  
PRIMERA A REVERSA  
'*****  
PRI_REV:  
GOSUB LCDR  
GOSUB NEUTRO1  
GOSUB NEU_REV  
GOTO RT
```

```
'*****  
'  
SUBROUTINAS  
'*****
```

```
;------NEUTRO A PRIMERA  
NEU_PRI:  
HIGH V3  
PAUSE 25  
HIGH V1  
PAUSE 250  
LOW V1  
LOW V3  
RETURN
```

```
;------NEUTRO A SEGUNDA  
NEU_SEG:  
HIGH V3  
PAUSE 35  
HIGH V2  
PAUSE 300  
LOW V2  
LOW V3  
RETURN
```

```
;------NEUTRO A TERCERA  
NEU_TER:  
HIGH V1  
PAUSE 250  
LOW V1  
RETURN
```

```
;------NEUTRO A CUARTA  
NEU_CUA:  
HIGH V2  
PAUSE 200  
LOW V2  
RETURN
```

```
;------NEUTRO A QUINTA  
NEU QUI  
HIGH V4  
PAUSE 250  
HIGH V1  
PAUSE 250  
LOW V1  
LOW V4  
RETURN
```

```
;------NEUTRO A REVERSA
```

```
NEU_REV:
HIGH SL
PAUSE 200
HIGH V3
PAUSE 150
HIGH V1
PAUSE 250
LOW V1
LOW V3
LOW SL
RETURN
```

```
;-----NEUTRO 1 PARA PRIMERA, TERCERA Y QUINTA
```

```
NEUTRO1:
HIGH V2
PAUSE 150
LOW V2
RETURN
```

```
;-----NEUTRO only REVERSA
```

```
NEUTROR:
HIGH V2
PAUSE 250
LOW V2
RETURN
```

```
;-----NEUTRO PARA SEGUNDA Y CUARTA
```

```
NEUTRO2:
HIGH V1
PAUSE 150
LOW V1
RETURN
```

```
;-----LCD PRIMERA
```

```
LCD1:
LCDOUT $fe,1
LCDOUT $fe,$80, " --1-- "
LCDOUT $fe,$c0, " PRIMERA "
RETURN
```

```
;-----LCD SEGUNDA
```

```
LCD2:
LCDOUT $fe,1
LCDOUT $fe,$80, " --2-- "
LCDOUT $fe,$c0, " SEGUNDA "
RETURN
```

```
;-----LCD TERCERA
```

```
LCD3:
LCDOUT $fe,1
LCDOUT $fe,$80, " --3-- "
LCDOUT $fe,$c0, " TERCERA "
RETURN
```

```
;-----LCD CUARTA
```

```
LCD4:
LCDOUT $fe,1
LCDOUT $fe,$80, " --4-- "
LCDOUT $fe,$c0, " CUARTA "
RETURN
```

```

;-----LCD QUINTA
LCD5:
LCDOUT $fe,1
LCDOUT $fe,$80, " ==5=- "
LCDOUT $fe,$c0, " QUINTA "
RETURN

;-----LCD REVERSA
LCDR:
LCDOUT $fe,1
LCDOUT $fe,$80, " ==R=- "
LCDOUT $fe,$c0, " REVERSA "
RETURN

;-----LCD NEUTRO
LCDN:
LCDOUT $fe,1
LCDOUT $fe,$80, " ==N=- "
LCDOUT $fe,$c0, " NEUTRO "
RETURN

'*****LEER RPM
LEER:
    ADCIN 0, dato
    dato = dato*14-702
    IF dato > 30000 THEN dato = 0
RETURN

'*****TACÓMETRO
prog:
    PAUSE 100
    ADCIN 0, dato
    dato = dato*14-702
    IF dato > 30000 THEN dato = 0
    LCDOUT $fe, 1
    LCDOUT $fe,$80, " REVOLUCIONES" ;limpiar LCD y escribir
    LCDOUT $fe,$c0, " ",DEC dato," [RPM]" ;sacar el valor de la
                                           ;variable
    IF ATRA = 0 THEN INICI
'-----CONDICIONAMIENTO DE LAS RPM
IF dato > 3500 THEN
HIGH SI
LOW NO
ELSE
LOW SI
HIGH NO
ENDIF
'-----
GOTO prog
'*****
INICI:
IF ATRA = 0 THEN INICI
GOTO INICIO

END ; FIN DEL PROGRAMA

```

ANEXO B

PLANOS

ANEXO C

TABLAS

Tabla 11-2 Pasos diametrales estándar (diente/pulgada)

<i>Paso grueso</i> ($P_d < 20$)				<i>Paso fino</i> ($P_d \geq 20$)	
1	2	5	12	20	72
1.25	2.5	6	14	24	80
1.5	3	8	16	32	96
1.75	4	10	18	48	120
				64	

Tabla 18-2 Grados SAE de aceros para fabricar afianzadores

<i>Número de grado</i>	<i>Tamaño de perno (pulg)</i>	<i>Resistencia al esfuerzo de tracción (Ksi)</i>	<i>Resistencia a punto cedente (Ksi)</i>	<i>Resistencia de prueba o probada (Ksi)</i>	<i>Marca en la cabeza</i>
1	1/4–1 1/2	60	36	33	Ninguna
2	1/4–3/4	74	57	55	Ninguna
	>3/4–1 1/2	60	36	33	
4	1/4–1 1/2	115	100	65	Ninguna
5	1/4–1	120	92	85	
	>1–1 1/2	105	81	74	
7	1/4–1 1/2	133	115	105	
8	1/4–1 1/2	150	130	120	

Tabla 18-5(c) Dimensiones métricas de cuerdas

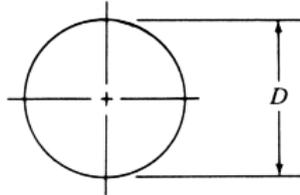
<i>Diámetro mayor básico (mm)</i>	<i>Cuerdas gruesas</i>		<i>Cuerdas finas</i>	
	<i>Paso (mm)</i>	<i>Area de esfuerzo de tracción (mm²)</i>	<i>Paso (mm)</i>	<i>Area de esfuerzo de tracción (mm²)</i>
1	0.25	0.460	—	—
1.6	0.35	1.27	0.20	1.57
2	0.4	2.07	0.25	2.45
2.5	0.45	3.39	0.35	3.70
3	0.5	5.03	0.35	5.61
4	0.7	8.78	0.5	9.79
5	0.8	14.2	0.5	16.1
6	1	20.1	0.75	22.0
8	1.25	36.6	1	39.2
10	1.5	58.0	1.25	61.2
12	1.75	84.3	1.25	92.1
16	2	157	1.5	167
20	2.5	245	1.5	272
24	3	353	2	384
30	3.5	561	2	621
36	4	817	3	865
42	4.5	1 121	—	—
48	5	1 473	—	—

Tabla 19-2 Tensiones por esfuerzo de corte permisibles en soldaduras de chaflanes

<i>Acero</i>								
<i>Tipo de electrodo</i>	<i>Metales típicos que se ensamblan (Grado ASTM)</i>				<i>Tensión por esfuerzo de corte permisible</i>			
E60	A36, A500				18 Ksi (124 MPa)			
E70	A242, A441				21 Ksi (145 MPa)			
E80	A572 Grado 65				24 Ksi (165 MPa)			
E90	—				27 Ksi (186 MPa)			
E100	—				30 Ksi (207 MPa)			
E110	—				33 Ksi (228 MPa)			
<i>Aluminio</i>								
<i>Aleación para rellenar</i>								
	<i>1100</i>		<i>4043</i>		<i>5356</i>		<i>5556</i>	
	<i>Tensión por esfuerzo de corte permisible</i>							
<i>Metal ensamblado</i>	<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>	<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>	<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>	<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>
1100	3.2	22	4.8	33	—	—	—	—
3003	3.2	22	5.0	34	—	—	—	—
6061	—	—	5.0	34	7.0	48	8.5	59
6063	—	—	5.0	34	6.5	45	6.5	45

APENDICE 1 PROPIEDADES DE AREA

Circular



$$A = \pi D^2/4$$

$$I = \pi D^4/64$$

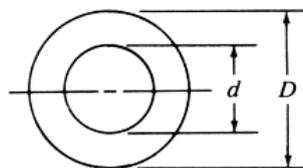
$$Z = \pi D^3/32$$

$$r = D/4$$

$$J = \pi D^4/32$$

$$Z_p = \pi D^3/16$$

Circular hueca (tubo)



$$A = \pi(D^2 - d^2)/4$$

$$I = \pi(D^4 - d^4)/64$$

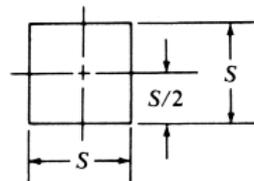
$$Z = \pi(D^4 - d^4)/32D$$

$$r = \sqrt{D^2 + d^2}/4$$

$$J = \pi(D^4 - d^4)/32$$

$$Z_p = \pi(D^4 - d^4)/16D$$

Cuadrada



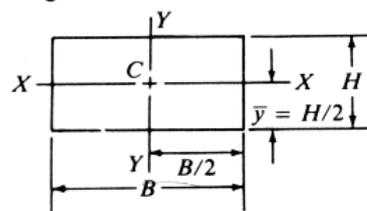
$$A = S^2$$

$$I = S^4/12$$

$$Z = S^3/6$$

$$r = S/\sqrt{12}$$

Rectangular



$$A = BH$$

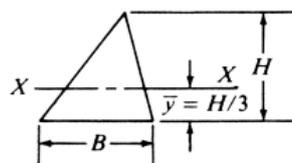
$$I_x = BH^3/12$$

$$Z_x = BH^2/6$$

$$r_x = H/\sqrt{12}$$

$$r_y = B/\sqrt{12}$$

Triangular



$$A = BH/2$$

$$I = BH^3/36$$

$$Z = BH^2/24$$

$$r = H/\sqrt{18}$$

APENDICE 5 PROPIEDADES DE LOS ACEROS CARBURIZADOS

Número de designación del material (número AISI)	Condición	Propiedades del núcleo						
		Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Dureza Brinell (HB)	Dureza superficial (HRC)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa			
1015	SWQT 350	106	731	60	414	15	217	62
1020	SWQT 350	129	889	72	496	11	255	62
1022	SWQT 350	135	931	75	517	14	262	62
1117	SWQT 350	125	862	66	455	10	235	65
1118	SWQT 350	144	993	90	621	13	285	61
4118	SOQT 300	143	986	93	641	17	293	62
4118	DOQT 300	126	869	63	434	21	241	62
4118	SOQT 450	138	952	89	614	17	277	56
4118	DOQT 450	120	827	63	434	22	229	56
4320	SOQT 300	218	1 500	178	1 230	13	429	62
4320	DOQT 300	151	1 040	97	669	19	302	62
4320	SOQT 450	211	1 450	173	1 190	12	415	59
4320	DOQT 450	145	1 000	94	648	21	293	59
4620	SOQT 300	119	820	83	572	19	277	62
4620	DOQT 300	122	841	77	531	22	248	62
4620	SOQT 450	115	793	80	552	20	248	59
4620	DOQT 450	115	793	77	531	22	235	59
4820	SOQT 300	207	1 430	167	1 150	13	415	61
4820	DOQT 300	204	1 405	165	1 140	13	415	60
4820	SOQT 450	205	1 410	184	1 270	13	415	57
4820	DOQT 450	196	1 350	171	1 180	13	401	56
8620	SOQT 300	188	1 300	149	1 030	11	388	64
8620	DOQT 300	133	917	83	572	20	269	64
8620	SOQT 450	167	1 150	120	827	14	341	61
8620	DOQT 450	130	896	77	531	22	262	61
E9310	SOQT 300	173	1 190	135	931	15	363	62
E9310	DOQT 300	174	1 200	139	958	15	363	60
E9310	SOQT 450	168	1 160	137	945	15	341	59
E9310	DOQT 450	169	1 170	138	952	15	352	58

Nota: Las propiedades que se indican son para un sólo conjunto de pruebas en barras redondas de 1/2"

SWQT: Inmerso una vez en agua y templado

SOQT: Inmerso una vez en aceite y templado

DOQT: Inmerso dos veces en aceite y templado

300 y 400 son las temperaturas de templado en °F. Carburizado durante 8 horas. La profundidad de la superficie varía entre 0.045 y 0.075"

APENDICE 7 PROPIEDADES DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES

Número de designación del material (número ASTM)	Grado o espesor	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductibilidad (elongación porcentual en 8 pulg)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa	
A36	$t \leq 8$ "	58	400	36	248	20
A242	$t \leq 3/4$ "	70	485	50	345	18
A242	$t \leq 1\frac{1}{2}$ "	67	460	46	315	—
A242	$t \leq 4$ "	63	435	42	290	—
A441	$t \leq 4$ "	63	435	42	290	18
A514	Inmerso y templado, $t \leq 2\frac{1}{2}$ "	115	800	100	700	18% (" 2")
A572	42, $t \leq 6$ "	60	414	42	290	—
A572	50, $t \leq 4$ "	65	448	50	345	—
A572	60, $t \leq 1\frac{1}{4}$ "	75	517	60	414	—
A572	65, $t \leq 1\frac{1}{4}$ "	80	552	65	448	—
A588	$t \leq 4$ "	70	485	50	345	18

Nota: El ASTM A572 es uno de los aceros de baja aleación más resistentes (HSLA) y tiene propiedades similares al acero SAE J410b especificado por la SAE.

FUENTE: MOTT Robert, "Diseño de Elementos de Máquinas" 2da edición 1992.

Latacunga; 1 de octubre de 2007

Realizado por:

Pedro P. Caiza Coello

R. Omar Arequipa Chiluisa

Ing. Juan Castro C
Coordinador de Carrera
Ingeniería Automotriz

Ab. Eduardo Vásquez Alcázar
Secretario Académico